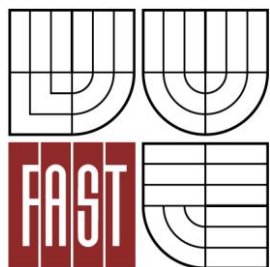




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

LÁVKA PRO PĚŠÍ FOOTBRIDGE

A. ÚVODNÍ LISTY INTRODUCTORY SHEETS/PAGES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETRA SMĚLÍKOVÁ

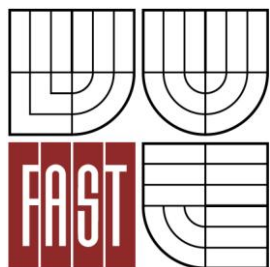
VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

LÁVKA PRO PĚŠÍ

FOOTBRIDGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETRA SMĚLÍKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Petra Směliková

Název Lávka pro pěší

Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Sýkora

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2012

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Prostorové uspořádání lávky pro pěší.
2. ČSN EN 1993 (731401), Navrhování ocelových konstrukcí.
3. Literatura podle doporučení vedoucího bakalářské práce.
4. Odborné publikace v časopisech a sbornících, které se vztahují k řešené problematice, podle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Zásady pro vypracování

Proveďte posouzení stávající lávky pro pěší na rozpětí 28 m a v případě nutnosti navrhnete úpravu nosné ocelové konstrukce.

Konstrukce se nachází v Kunovicích u Uherského Hradiště.

Předepsané přílohy:

1. Technická zpráva obsahující základní charakteristiky navržené konstrukce, požadavky na materiál, spojovací prostředky, montáž a ochranu.
2. Statický výpočet hlavních nosných prvků a částí konstrukce.
3. Výkresová dokumentace obsahující zejména dispoziční výkres, výkres vybraných konstrukčních dílců, charakteristické detaily podle pokynů vedoucího bakalářské práce.
4. Orientační výkaz spotřeby materiálu.

Předepsané přílohy

.....

Ing. Karel Sýkora
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Náplní bakalářské práce je statické posouzení nosné konstrukce stávající lávky pro pěší a cyklisty v Kunovicích u Uherského Hradiště. Rozpětí lávky je 28m. Lávka je konstrukčně řešena jako prostorová prutová soustava s dolní mostovkou. Hlavní nosník je příhradová konstrukce se sedlovým horním pásem. Výška hlavního nosníku v polovině rozpětí je 2,5m, nad podporami 1,5m. Výpočet je proveden ručně a s použitím výpočetního programu Scia Engineer 2012.0.

Klíčová slova

lávka pro pěší a cyklisty, ložisko, prostorová prutová soustava, příhradový nosník, opěrná vzpěra, větrové ztužidlo, styčník, svarový spoj, šroubový spoj, ocel, dřevo

Abstract

The topic of my Bachelor's thesis is a static assessment of a bearing structure of a current footbridge which is also used for cycling. It is placed in Kunovice near Uherské Hradiště. The length of span is 28 meters. Its construction is solved as space framework with through-span. Main beam is truss structure with upper saddle flange. The height of beam in the middle of the span is 2.5 meters and above supports is 1.5 meters. The calculation is done either by hand or using calculation program Scia Engineer 2012.0.

Keywords

footbridge for cyclists, bearing, space framework, trussed beam, brace strut, wind brace, panel point, weld joint, bolted joint, steel, wood

Bibliografická citace VŠKP

SMĚLÍKOVÁ, Petra. *Lávka pro pěší*. Brno, 2013. 116 s., 66 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Karel Sýkora.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....

podpis autora

Petra Smělíková

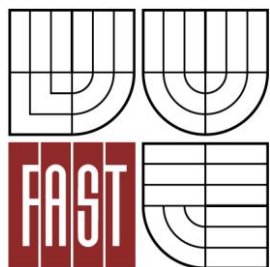
Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Karlu Sýkorovi za odborné vedení práce, cenné rady a vstřícné jednání při konzultacích. Dále děkuji také Ing. Zbyňku Vlčkovi, Ph.D. za ochotu a odbornou pomoc při práci s výpočetním programem.

Poděkování patří také mým blízkým za všeobecnou podporu při studiu a zejména rodičům za finanční podporu mého studia na vysoké škole v České republice i v zahraničí.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

LÁVKA PRO PĚŠÍ

FOOTBRIDGE

B. ANALÝZA STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE ANALYSIS OF THE CURRENT CONSTRUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETRA SMĚLÍKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2013

OBSAH

1.	ÚVOD	3
2.	HISTORIE LÁVKY	3
2.1.	Účel a vlastnictví lávky	4
2.2.	Provedené opravy na lávce	5
3.	ANALÝZA PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE	5
3.1.	Geologie dle dokumentace z roku 1983	6
3.2.	Analýza dokumentace z roku 1995 a 1996	6
3.3.	Komentář	7
4.	MÍSTNÍ ŠETŘENÍ	8
4.1.	Základní informace	8
4.2.	Konstrukce a geometrie lávky	9
4.3.	Zjištěné závady	11
4.3.1.	Koroze ocelové konstrukce	11
4.3.2.	Mechanické poškození konstrukce	12
4.3.3.	Jiné poškození konstrukce	15
5.	ZÁVĚR	16
6.	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	17
7.	PODKLADY A POUŽITÁ LITERATURA	18

1. ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je statické posouzení stávajícího stavu a únosnosti ocelové konstrukce lávky pro pěší a cyklisty (Obr. 1-1) ve městě Kunovice. Součástí bakalářské práce je průzkum, zhodnocení stavu stávající konstrukce, ověření její únosnosti a použitelnosti a případně návrh úpravy její nosné ocelové konstrukce. Posouzení lávky bude provedeno dle Eurokódů. Podle článku 1.1(4) lze ČSN EN 1990 [1] použít pro hodnocení existujících konstrukcí, při návrhu jejich oprav nebo modernizací.

Lávka se nachází v Kunovicích v okrese Uherské Hradiště, kde přemostňuje místní vodoteč, řeku Olšavu, na rozpětí 28 m. Jedná se o prostorovou prutovou soustavu. Lávka je součástí místní cyklostezky.

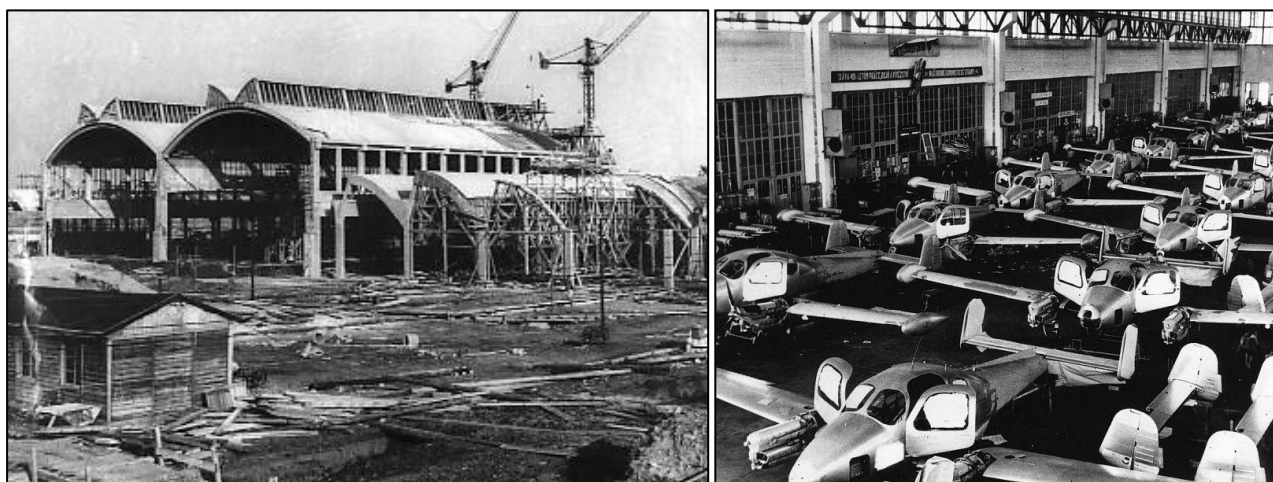


Obr. 1-1: Lávka pro pěší a cyklisty v Kunovicích [foto vlastní, 2013]

2. HISTORIE LÁVKY

Řeka Olšava, kterou lávka přemostňuje, je levostranným přítokem řeky Moravy. V minulosti byly přes řeku Olšavu budovány lávky a mosty většího či menšího významu pro snadnější přístup obyvatel z obcí ležících „za řekou“ do města Uherské Hradiště. Zaměřila jsem se tedy na lávku, jež je předmětem této bakalářské práce.

Z dostupných zdrojů bohužel není možné zjistit bližší informace, které by alespoň datovaly její vznik nebo významné události týkající se této stavby. Jediná písemná zmínka je v projektové dokumentaci z roku 1995 [4], která se odkazuje na projektovou dokumentaci z roku 1956. Toto datum se shoduje také s výpověďmi místních občanů o přibližném datu výstavby lávky. Dle mého názoru tedy datuje její vznik, a to 50. léta 20. století. Faktem absence informací je i to, že lávka byla vybudována tehdejším národním podnikem LET, n. p. (později akciová společnost LET Kunovice, Letecké závody, a.s., dnes Aircraft Industries, a.s.), který byl a dodnes je znám výrobou vlastních letounů, a to zejména výrobou větroně L 13 Blaník, nejúspěšnějšího letounu L 410, či předčasně ukončeným projektem výroby letounu L 610 [6]. Existence leteckého závodu, letiště s mezinárodními parametry a výroba letounů v malém městě, které má pouhých 5 400 obyvatel [7], je tedy pro muzea, tisk a média mnohem zajímavější než vybudování přístupové cesty do podniku a konstrukce výše zmiňované lávky.



Obr. 2-1: Dobové fotografie národního podniku Let, n.p. z let 1950-1954 [8]

2.1. Účel a vlastnictví lávky

Jak jsem již uvedla výše, lávka byla vybudována v 50. letech 20. století tehdejším národním podnikem Let, n. p., který ji spolu s tamní cyklostezkou vybudoval pro snadnější přístup svých zaměstnanců do podniku. Za tímto účelem je lávka využívána dodnes, přibyla navíc funkce rekreační. Lávka je součástí Uherskohradištské vinařské stezky a je tedy velmi intenzivně využívána. Původní investor a vlastník lávky národní podnik Let, n. p., který lávku vybudoval, zanikl a dnešní firma Aircraft Industries, a. s. se ke stavbě nehlásí. Lávka měla být po zániku původního vlastníka bezplatně převedena na město Kunovice, o čemž ale město nemá žádný zápis. Nehlásí se k ní tedy ani město Kunovice, ani město Uherské Hradiště. Tato města pouze vykupují pozemky pod cyklostezkou, aby ji mohla společně zrekonstruovat, o rekonstrukci lávky se však nemluví [9].

Od vlastnictví této problematické stavby dávají všichni vlastníci, kteří přicházejí v úvahu, ruce pryč a přehazují si ji „jako horký brambor“. Otázku vlastnictví dnes už asi nikdo nevyřeší. Bohužel trasa plánované nové cyklostezky by měla vést jinudy, tudíž i přes jiný plánovaný most v blízké lokalitě a tak je pravděpodobné, že lávka bude přehlížena dál.

2.2. Provedené opravy na lávce

Z dostupných informací a zdrojů je patrné, že na lávce došlo pouze ke dvěma opravám. První a rozsáhlejší z nich byla provedena v roce 1996, kdy byla lávka příčně ztužena a byla omezena její únosnost [5]. Podrobněji jsou opravy popsány v kapitole 3. Druhou z nich provedl neznámý dobrodinec, když v roce 2008 vyměnil část dřevěných prken [10].

„Dlouhé roky chátral a chátrat bude zřejmě dál, tak se rýsuje budoucnost starého mostku přes Olšavu naproti bývalého LETu v Kunovicích. Přestože o aktuálním stavu frekventované lávky Slováký deník informoval už před několika měsíci. K opravě se stále nemají ani zástupci Kunovic, Uherského Hradiště ani společnosti Aircraft Industries, jejíž zaměstnanci ji nejčastěji využívají“ [10]. I tato zpráva dokládá, že se o lávku po celou dobu její existence téměř nikdo nestaral.

3. ANALÝZA PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE

Před provedením samotného průzkumu konstrukce jsem se zaměřila na možnost získání jakékoliv projektové dokumentace k této stavbě. Existence původní či jiné projektové dokumentace tohoto díla byla pravděpodobná na níže uvedených třech místech a zjistila jsem následující:

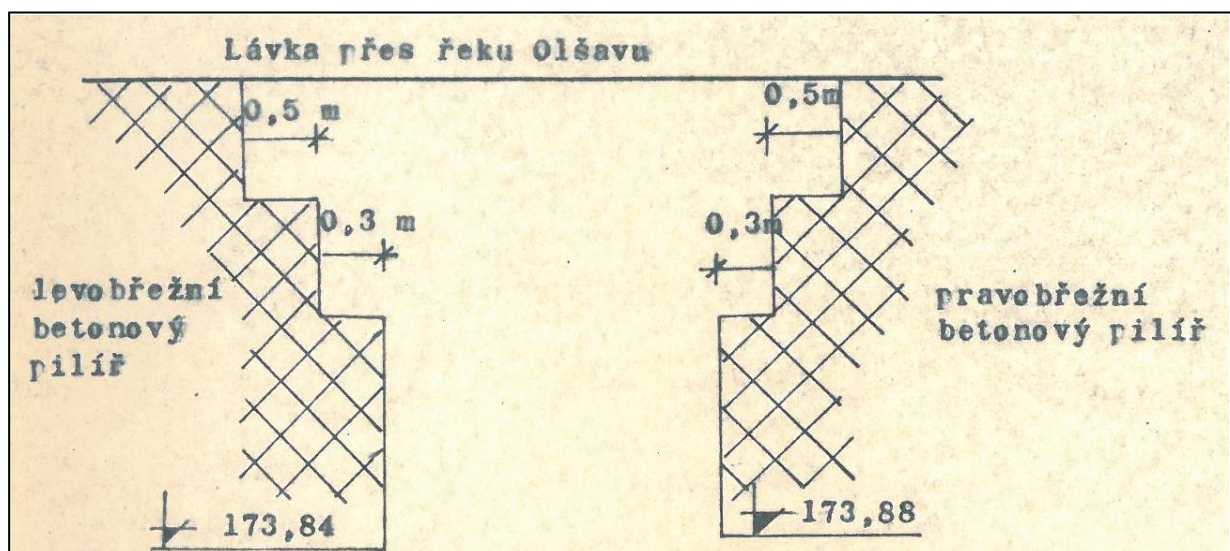
- **Stavební úřad města Uherské Hradiště**, tehdejší okresní stavební úřad, v současné době již nevlastní žádnou projektovou dokumentaci k tomuto dílu. Původní dokumentace byla ztracena nebo zničena v roce 1997 při povodních,
- **Stavební úřad města Kunovice** rovněž žádnou projektovou dokumentaci tohoto díla nevlastní, jelikož byl zřízen až po povodních v roce 1997, kdy byla veškerá dokumentace zničena,
- **investor stavby** národní podnik LET, n. p. již zanikl a dnešní firma Aircraft Industries, a.s. se ke stavbě nehlásí, vlastní ovšem částečnou projektovou dokumentaci o rekonstrukci stavby.

Díky ochotě tamních zaměstnanců a jednoho z projektantů rekonstrukce lávky, se mi podařilo získat alespoň následující dokumentaci: *Stavebně-geologický průzkum* [3], *Lávka přes Olšavu* [4] a *Oprava lávky pro pěší* [5]. Veškerá uvedená dokumentace se týká plánovaných či uskutečněných rekonstrukcí lávky, žádná však není původní.

3.1. Geologie dle dokumentace z roku 1983 [3]

Při analýze dokumentace [3] jsem zjistila, že tento stavebně-geologický průzkum byl zhotoven jako podklad pro plánovanou rekonstrukci lávky v 80. letech 20. století, ke které ovšem nedošlo.

V rámci průzkumných prací byly provedeny dvě vrtané sondy do hloubky cca 12 m a dvě kopané sondy pro zjištění základové spáry obou pilířů. Dle průzkumu jsou geologické poměry zájmového území jednoduché a oba mostní pilíře jsou založeny v únosné vrstvě jílovitých hlín nad hladinou podzemní vody. Hladina podzemní vody byla zjištěna v úrovni 172,0 m n. m., je mírně napjatá a její chemické složení neohrožuje použité materiály stavebních konstrukcí. Výška základové spáry byla zjištěna pro levostranný pilíř 173,84 m n. m. a pro pravostranný pilíř 173,88 m n. m. (Obr. 3-1).



Obr. 3-1: Schéma zjištěné výšky základových spár [3]

3.2. Analýza dokumentace z roku 1995 [4] a 1996 [5]

První z výše uvedených dokumentů [4] odkazuje na projektovou dokumentaci z roku 1956, což dle mého názoru datuje přibližné období výstavby lávky. Prostudováním výše uvedené

dokumentace [4] a [5] jsem zjistila důležité skutečnosti vzniklé porovnáním původně navržené konstrukce a realizované konstrukce z 50. let. Jedná o čtyři základní rozdíly:

- horní pás byl složen pouze ze dvou úhelníků namísto navrhovaných čtyř,
- navržené horní zavětrování nebylo realizováno,
- příčná tuhost měla být zajištěna ocelovými kotvícími lany ukotvenými ve třetinách rozpětí, po těchto prvcích byly nalezeny pouze kotvící otvory na hlavním nosníku, lana tedy byla pravděpodobně odstraněna při regulaci řeky Olšavy a již nebyla zpětně zhotovena,
- mostní opěry nebyly zhotoveny z betonu, ale z pískovcového kamene na cementovou maltu, které nebyly nijak dále ošetřeny.

Dokumentace [4] a [5] také upozorňuje na možnost zřícení úložného prahu vlivem několika vypadnutých kamenů. Příčinou případného zřícení je roznos zatížení na menší ploše. Dále apeluje na mechanické poškození některých prutů spodního zavětrování a příčného ztužení.

Závěr zprávy odkazuje na statický výpočet [5], dle kterého bylo zjištěno, že lávka nepřenese spolehlivě ani vlastní váhu a byla tedy navržena její oprava. Opravou bylo zhotovení opěrných vzpěr z lešenářských trubek v každém druhém styčnicku, které měly zajistit příčnou tuhost lávky zachycením horního tlačného pásu. V návaznosti na přetížení konstrukce od opěrných vzpěrek byl zesílen horní pás symetrickým úhelníkem L 80/8. Dále byla celá konstrukce včetně ložisek opatřena ochranným nátěrem proti korozi a stěny mostní opěry byly opatřeny ochrannou vrstvou stříkaného betonu tloušťky 10mm, který měl zabránit zvětrávání. Kolejnice, na kterých jsou uložena ložiska, byly zajištěny vyztuženým betonovým blokem. Dřevěné desky tvořící mostiny byly naimpregnovány. Po výše uvedených opravách byla dle statického výpočtu [5] zajištěna únosnost pro 20 osob.

3.3. Komentář

Ze získaných informací vyplývá, že již při realizaci stavby v 50. letech 20. století došlo k určitým, nicméně podstatným změnám či zjednodušením konstrukce oproti původnímu návrhu. Je tedy přirozené, že se postupem času stala lávka problematickou stavbou. V dnešní době je omezen provoz lávky pouze pro 20 osob současně, aby byla schopna bezpečně přenést působící zatížení.

V žádné části získané dokumentace [3], [4] a [5] není zmínka o materiálech použitých na konstrukci. Uveden je pouze materiál opěry, který se ovšem neshoduje s reálným provedením. Pro výpočet budu tedy uvažovat ocel nejnižší pevnostní třídy S235. Materiálem mostin budu

uvažovat listnaté či jehličnaté rostlé dřevo, vždy dle typu posuzovaného prvku tak, aby byl vyvozen nejnejpříznivější účinek na daný prvek.

4. MÍSTNÍ ŠETŘENÍ

Místní šetření jsem provedla ve dnech 12.10.2012 (předběžné ohledání konstrukce pro výběr tématu bakalářské práce), 30.12.2012 a 3.3.2013. Konstrukce zůstala v průběhu všech tří šetření a tvorby bakalářské práce beze změny. Podmínky prohlídky konstrukce byly ztíženy tím, že konstrukce není udržovaná a některé části konstrukce jsou velmi obtížně přístupné. Rozměry konstrukce se, až na výjimky (tj. opěra), shodují s dokumentací, která byla k dispozici. Zjištěné skutečnosti v rámci místního šetření uvádím níže.

4.1. Základní informace

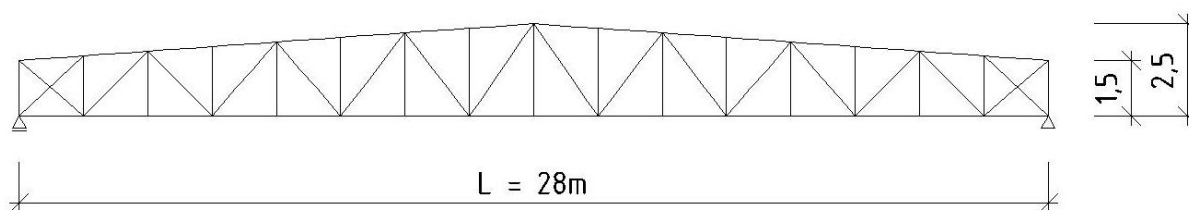
Lávka se nachází v katastrálním území Kunovice u Uherského Hradiště, okres Uherské Hradiště, Zlínský kraj mimo zastavěné území obce. Není jasné, kdo je majitelem této stavby, tudíž se o lávku pravidelně nikdo nestará a neudržovaná konstrukce chátrá. Lávka převádí pěší a cyklistickou dopravu přes řeku Olšavu a je součástí místní cyklostezky.

Tab. 4-1: Základní informace o konstrukci

Délka lávky	28,65 m
Teoretické rozpětí	28,00 m
Osová vzdálenost hlavních nosníků	1,50 m
Výška hlavního nosníku v 1/2 rozpětí	2,50 m
Výška hlavního nosníku na okraji	1,50 m
Vzdálenost příčných vazeb	1,75 m
Počet polí	16
Počet ztužujících polorámů	8
Úhel křížení	90 °
Podélný sklon	0 °

4.2. Konstrukce a geometrie lávky

Jedná se o ocelovou prostorovou prutovou soustavu s dolní mostovkou s dřevěnými příčnými mostinami tl. 60mm. Zatížení se přenáší z mostin přes podélné nosníky profilu U do příčných nosníků složených z dvojice L profilů (vyztuženy příčnými ztužidly z L profilů), odkud se přenáší do příhradového hlavního nosníku (Obr. 4-1). Konstrukce je příčně ztužena opěrnými vzpěrami z lešenářských trubek tvořícími polorám a podélně ztužena větrovým ztužidlem z L profilů. Konstrukce je doplněna o zábradlí z vodorovných pásků ve čtyřech úrovních a na protivodní straně převádí kabeláž. Hlavní nosník má sedlový tvar ve sklonu $4,1^\circ$ a jeho pruty jsou složeny také z dvojic či trojic L profilů. Konstrukce není zastřešená.



Obr. 4-1: Osová schéma hlavního nosníku

V rámci místního šetření jsem změřila posuvným měřítkem veškeré použité profily na konstrukci. U většiny profilů jednotlivých konstrukčních částí jsem zjistila mírné korozivní úbytky oproti údajům z dokumentace, které v exponovaných místech činí řádově 0,5–1mm. Veškeré spoje na konstrukci jsou provedeny jako svarové s účinnou výškou svaru 4mm, pouze přípoj jednotlivých částí ztužujících opěrných vzpěr je proveden jako šroubový spoj šrouby M16. Vzpěry jsou pak ke konstrukci připojeny k hornímu pásu šrouby M12, na dolním pásu jsou zajištěny pomocí třmenů Ø16mm.



Obr. 4-2: Měření při místním šetření [foto vlastní, 2013]

Tab. 4-2: Naměřené profily jednotlivých částí konstrukce

PRVEK	ČÁST	ZJIŠTĚNÝ ROZMĚR [mm]		UVAŽOVANÝ MATERIÁL
Hlavní nosník	Horní pás	2 L	70/6,5; 5	S235
		L	80/7,5	
	Dolní pás	2 L	60/5,5; 5	S235
	Diagonály	2 L	60/6; 5	S235
	Svislice			
Podélný nosník	-	U	50/40;6	S235
Příčný nosník	-	2 L	50/5; 5	S235
Ztužidla	Příčné	L	45/6	S235
	Větrové	L	50/55;6	S235
	Opěrné vzpěry	Ø	50;3,5	S235
Mostiny	Prkna	t	60	rostlé dřevo
Vybavení	Zábradelní pásy	FL	40;5	S235

Lávka je uložena na čtyřech ocelových ložiskách, vždy po dvou na jedné straně konstrukce, která jsou uložena a přivařena vždy na dvě úložné kolejnice, jejichž stabilita je zajištěna vyztuženým betonovým blokem. Ložiska na levé straně lávky jsou řešena jako dvouválcová, která staticky působí jako posuvná podpora umožňující pootočení a horizontální posun ve směru rozpětí lávky, a na pravé straně lávky jsou řešena jako stolicová, která staticky působí jako pevná podpora umožňující pouze pootočení (Obr. 4-3).



Obr. 4-3: Ložiska [foto vlastní, 2013]

Podrobný výkres tvaru konstrukce, rozměrů a detailů je přiložen v části F této bakalářské práce.

4.3. Zjištěné závady

V rámci místního šetření jsem zjistila, že lávka je téměř neudržovaná, z čehož plynou četné závady. Závady lze rozdělit do tří základních kategorií, které uvádím níže. Lávka vykazuje znatelné pohyby konstrukce ve všech směrech již při pohybu několika málo chodců na lávce.

4.3.1. Koroze ocelové konstrukce

Korozivní úbytky jsou znatelné na svarech, styčnickových pleších (Obr. 4-4), ložiskách a zábradelních páscích (Obr. 4-5), které ovšem neplní statickou funkci. Při přeměření použitých profilů posuvným měřidlem jsem zjistila na profilech tvořících horní i dolní pás hlavního nosníku úbytek v exponovaných místech až 1 mm. Na ostatních profilech je úbytek menší a velmi obtížně měřitelný. Svarové spoje na konstrukci jsou také často ve velmi špatném stavu, jejich koroze je znatelná, nicméně prakticky nezměřitelná. Jedná se zejména o svary, které připojují prvky opěrných vzpěr ke styčnickovému plechu nebo svislice a diagonály k pásům hlavního nosníku. Znatelná je také koroze stolicových ložisek.



Obr. 4-4: Příklad koroze svaru a styčnickového plechu [foto vlastní, 2013]



Obr. 4-5: Koroze stolicového ložiska a zábradelních pásků [foto vlastní, 2013 a 2012]

4.3.2. Mechanické poškození konstrukce

Mechanické poškození je znatelné zejména na prutech větrového ztužidla, od původní polohy jsou také vychýleny opěrné vzpěry (Obr. 4-6) a zkřiveny jejich spojovací šrouby. Dále je lokálně zvlněn L profil horního pásu a krajní svislice hlavního nosníku (Obr. 4-7).

Vychýlení od daného směru je na následujících obrázcích pro názornost porovnáno s původním tvarem znázorněným červenými čarami.



Obr. 4-6: Mechanické poškození větrového ztužidla a opěrných vzpěr [foto vlastní, 2013]



Obr. 4-7: Lokální poškození profilů hlavního nosníku [foto vlastní, 2012]

Jako hlavní příčina mechanického poškození větrového ztužidla a opěrných vzpěr přichází v úvahu poškození při povodních v letech 1997 a 2010. Z dostupných údajů [11], nelze jednoznačně určit, zda byla v letech 1997 a 2010 hladina řeky Olšavy tak vysoko, aby případné náplavy konstrukci mechanicky poškodily. Dostupné jsou pouze údaje ze dvou monitorovacích stanic na řece Moravě a jedné na řece Olšavě (Obr. 4-8).



Obr. 4-8: Monitorovací stanice na tocích.

1 – LG Spytihněv, 2 – LG Strážnice, 3 – LG Uherský Brod [obrázek vlastní; 2013]

Maximální naměřené hodnoty jsou z roku 1997, kdy na řece Moravě oproti standardnímu stavu dosáhly 3. stupně povodňové aktivity (extrémní ohrožení), na řece Olšavě nedosáhly ani na 1. stupeň povodňové aktivity. Konkrétně dle následující tabulky.

Tab. 4-3: Vybrané průtoky na monitorovacích stanicích [m^3/s]

Monitorovací stanice	Tok	Q_1	Q_{100}	$Q_{\max(1997)}$
LG Spytihněv	Morava	363	817	920
LG Strážnice	Morava	375	790	901
LG Uherský Brod	Olšava	47	270	140

Uvedené údaje jsou však zkresleny tvarem koryta jednotlivých toků a vzdáleností monitorovacích stanic od místa, kde je lávka realizována. V oblasti Kunovic jsou velmi stísněné podmínky ovlivňující profil koryta a zároveň jeho kapacitní průtok oproti podmínkám nad zájmovou oblastí, tedy v okolí monitorovací stanice v Uherském Brodě. Zvýšení hladiny řeky Olšavy v zájmovém území mohlo být také způsobeno rozdílným sklonem koryta a vzduťím hladiny vlivem výšky hladiny řeky Moravy, ale jen v minimálním procentuelním zastoupení. Lávka je od soutoku řek Moravy a Olšavy vzdálena asi 1,4 km. Dle výpovědi místních občanů bylo koryto řeky Olšavy v době povodní v roce 1997 zcela naplněno a v mnohých místech vylito. Nicméně lávka byla po celou dobu povodní využívána a v jejím bezprostředním okolí, ač byla hladina „velmi vysoko“, nedošlo k vylití koryta. Toto dokladuje i fotografie jiného mostu (Obr. 4-9), vzdáleného asi 3km, pořízená v roce 1997 [12].



Obr. 4-9: Dobová fotografie z povodní v roce 1997 [12]

Vzhledem k výše uvedenému a také skutečnosti, že mechanicky poškozeno je i vedení kabeláže na protivodní straně lávky, je možné, že dolní větrové ztužidlo podléhá

pouze mechanickému poškození způsobenému povodněmi v letech 1997 a 2010. Není ovšem vyloučeno, že nepodléhá lokální ztrátě stability.

4.3.3. Jiné poškození konstrukce

Dřevěné mostiny jsou napadeny zejména dřevokaznými škůdci a lišejníky (Obr. 4-10) a dále jsou rozpukány v lokálním podélném směru prvu.

Levobřežní mostní opěra vykazuje opotřebení zejména povětrnostním vlivy a pravděpodobně špatně provedená vrstva stříkaného betonu opadává (Obr. 4-11). Takto odkryté části opěry zvětrávají a vypadávají z konstrukce mostní opěry ven. Při detailnější průzkumu zjistíme, že není zhotovena monoliticky z betonu jak uvádí dokumentace, ale z různých materiálů – pískovcový kámen, pálené cihly, dřevo.



Obr. 4-10: Poškození dřevěných mostin [foto vlastní, 2012]



Obr. 4-11: Poškození levostranné mostní opěry [foto vlastní, 2013]

5. ZÁVĚR

Z průzkumu konstrukce je zřejmé, že konstrukce ocelové lávky pro pěší a cyklisty je sice provozuschopná, ale její stav není ideální. Prozatím nelze hovořit o havarijním stavu, nicméně aby v budoucnu nedošlo k jejímu zřícení, bude zcela jistě nezbytné provést opravy na lávce. Pro jejich návrh je ovšem nutné přihlédnout k několika důležitým faktorům, jakými je např. výše finančních prostředků, které budou na případnou opravu k dispozici. Je třeba také vyřešit vlastnictví této stavby, aby měla vlastníka, který se o stavbu bude starat a pravidelně ji udržovat.

6. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázky:

Obr. 1-1: Lávka pro pěší a cyklisty v Kunovicích *[foto vlastní, 2013]*

Obr. 2-1: Dobové fotografie národního podniku Let, n.p. z let 1950-1954 *[8]*

Obr. 3-1: Schéma zjištěné výšky základových spár *[3]*

Obr. 4-1: Osové schéma hlavního nosníku

Obr. 4-2: Měření při místním šetření *[foto vlastní, 2013]*

Obr. 4-3: Ložiska *[foto vlastní, 2013]*

Obr. 4-4: Příklad koroze svaru a styčnickového plechu *[foto vlastní, 2013]*

Obr. 4-5: Koroze stolicového ložiska a zábradelních pásků *[foto vlastní, 2013 a 2012]*

Obr. 4-6: Mechanické poškození větrového ztužidla a opěrných vzpěr *[foto vlastní, 2013]*

Obr. 4-7: Lokální poškození profilů hlavního nosníku *[foto vlastní, 2012]*

Obr. 4-8: Monitorovací stanice na tocích *[obrázek vlastní, 2013]*

Obr. 4-9: Dobová fotografie z povodní v roce 1997 *[12]*

Obr. 4-10: Poškození dřevěných mostin *[foto vlastní, 2012]*

Obr. 4-11: Poškození levostranné mostní opěry *[foto vlastní, 2013]*

Tabulky:

Tab. 4-1: Základní informace o konstrukci

Tab. 4-2: Naměřené profily jednotlivých částí konstrukce

Tab. 4-3: Vybrané průtoky na monitorovacích stanicích $[m^3/s]$

7. PODKLADY A POUŽITÁ LITERATURA

Normy:

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. ČNI, 2004 a Příloha A2 *Použití pro mosty*. ČNI, 2006.
- [2] ČSN ISO 690. *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

Podklady:

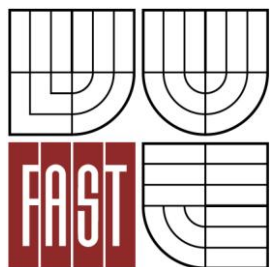
- [3] VÝROBNÍ DRUŽSTVO BYTPRŮM OSTRAVA. *Stavebně-geologický průzkum*. Ostrava, 1983.
- [4] HUTNÍ PROJEKT FRÝDEK-MÍSTEK a.s. *Lávka přes Olšavu*. Uherské Hradiště, 1995.
- [5] HUTNÍ PROJEKT FRÝDEK-MÍSTEK a.s. *Oprava lávky pro pěší*. Uherské Hradiště, 1996.

Internetové zdroje:

- [6] Aircraft Industries – KUNOVICE, AIRPORT – Historie. *Aircraft Industries* [online]. ©2013 [cit. 2013-02-16]. Dostupné z: http://www.let.cz/clanek_285_historie.html.
- [7] Město Kunovice. *Kunovice: oficiální stránky města* [online]. ©2013 [cit. 2013-02-16]. Dostupné z: <http://www.mesto-kunovice.cz/a/kunovice>.
- [8] Slovákcké muzeum – Historie leteckého závodu. *Slovákcké muzeum* [online]. ©2013 [cit. 2013-02-16]. Dostupné z: <http://www.slovackemuzeum.cz/doc/15/>.
- [9] ČERVINKA, Michal. Most v havarijním stavu nemá majitele. *Zlin.cz – informační server* [online]. 8.11.2006 [cit. 2013-03-31]. ISSN 1214-6897. Dostupné z: <http://zlin.avonet.cz/article.php?ID=91716&print=1>.
- [10] ČERVINKA, Michal. Chátrající lávka radní nezajímá. *Slovákcký deník* [online]. 31.8.2008, ©2008 cit. [2013-03-31]. Dostupné z: http://slovacky.denik.cz/zpravy_region/chatrajici-lavka-pres-reku-olsava-kunovice20080830.html.
- [11] Povodí Moravy – Stavy a průtoky 4.3. *Povodí Moravy* [online]. ©2013 [cit. 2013-02-16]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/portal/sap/cz/index.htm>.
- [12] Povodně – rok 1997. *Sbor dobrovolných hasičů KUNOVICE* [online]. ©2013 [cit. 2013-02-16]. Dostupné z: http://www.sdhkunovice.cz/pics/foto/galerie/historie/Povodne_1997/index.html.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

LÁVKA PRO PĚŠÍ FOOTBRIDGE

C. TECHNICKÁ ZPRÁVA TECHNICAL DOCUMENTATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETRA SMĚLÍKOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2013

OBSAH

1.	ÚVOD	3
2.	KONSTRUKCE	3
2.1.	Geometrie	3
2.2.	Spoje	4
2.3.	Uložení	4
2.4.	Použité materiály	4
2.5.	Průřezy na konstrukci	5
2.6.	Výpočtový model	6
3.	PŘEHLED ZATÍŽENÍ	6
3.1.	Stálá zatížení	6
3.2.	Proměnná zatížení	6
4.	KOMENTÁŘ K VÝSLEDKŮM POSOUZENÍ	7
5.	NAVRŽENÁ OPRAVA NOSNÉ KONSTRUKCE	8
5.1.	Variantní řešení oprav	8
5.1.1.	Posílení či výměna prutů	8
5.1.2.	Změna statického systému	8
6.	ZÁVĚR	9
7.	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	10
8.	PODKLADY A POUŽITÁ LITERATURA	10

1. ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je posouzení a vyhodnocení nosné konstrukce stávající lávky pro pěší a cyklisty v Kunovicích u Uherského Hradiště. Lávka je realizována na rozpětí 28m. Veškeré obsahové požadavky, úpravy a doplnění oproti zadání jsem vždy provedla na základě předchozí konzultace s vedoucím práce.

Výpočet je proveden nejprve pro idealizovaný stav nosné konstrukce, na základě jehož ne zcela příznivých výsledků je upraveno zatížení dle reálného možného využití lávky. V rámci statického výpočtu je uvažováno posouzení hlavní nosné konstrukce mostu, prvků mostovky a ztužujících prvků konstrukce. Tato bakalářská práce neuvádí posouzení ložisek ani spodní stavby mostu.

Výpočet vnitřních sil je proveden ve studentské verzi výpočetního programu Scia Engineer 2012.0. Základní konstrukce je modelována jako 3D model. Výpočet vnitřních sil na vybraných prvcích je proveden kontrolně také ručním výpočtem nebo na 2D modelu. Porovnání jednotlivých výsledků slouží jako zpětná vazba správnosti výpočtových modelů.

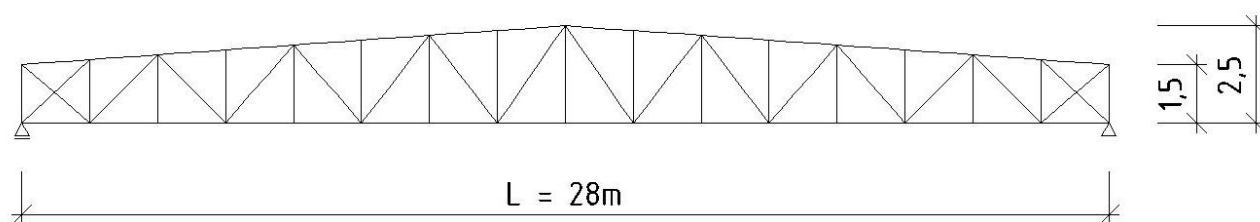
Postup výpočtu dodržuje ustanovení, která uvádí příslušné platné normativní dokumenty. Konkrétní použité dokumenty jsou uvedeny v části D této bakalářské práce.

2. KONSTRUKCE

2.1. Geometrie

Geometrie konstrukce vychází z analýzy získané projektové dokumentace porovnané se stávajícím stavem konstrukce zjištěným při místním šetření. Konstrukce zůstala v průběhu tvorby bakalářské práce beze změny.

Jedná se o prostorovou prutovou soustavu s dolní mostovkou. Konstrukce je prostě podepřená na rozpětí 28m, osová vzdálenost příhradových hlavních nosníků s lomeným horním pásem ve sklonu $4,1^\circ$ je 1,5m. Příčné vazby jsou rozmístěny po 1,75m a na nich jsou uloženy 3 podélníky, které podepírají dřevěné mostiny tl. 60mm. Celá konstrukce je dále příčně ztužena opěrnými vzpěrami v každém druhém styčniku. Konstrukce není zastřešená. Podrobnější dispozice konstrukce je zřejmá z výkresové dokumentace, která je částí F této bakalářské práce.



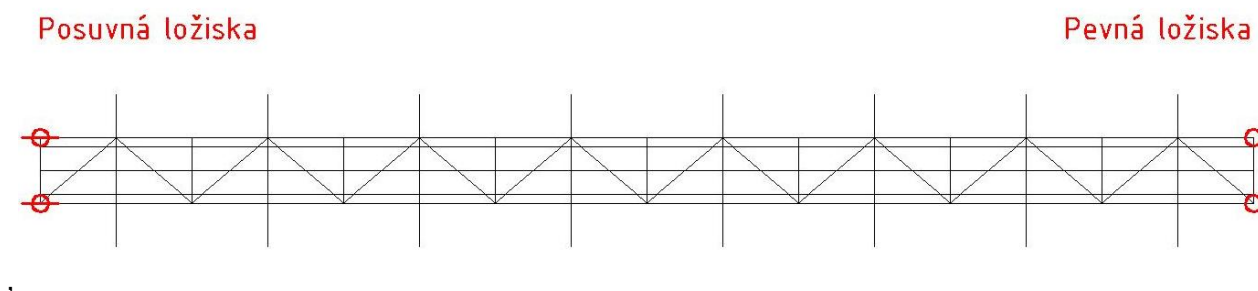
Obr. 2-1: Schéma hlavního nosníku

2.2. Spoje

Veškeré spoje provedené na hlavní nosné konstrukci jsou svarové s účinnou výškou svaru 4mm. Šroubové spoje se vyskytují pouze na konstrukci opěrných vzpěr, pro spojení jednotlivých prutů jsou použity šrouby M16. Připojení vzpěr k hlavní nosné konstrukci je na horním pásu realizováno navařením vzpěr na plech tl. 8mm, který je ke konstrukci připojen šrouby M12, na dolním pásu jsou vzpěry zajištěny pomocí třmenů Ø16mm.

2.3. Uložení

Lávka je uložena na 4 ocelových ložiskách. Na jednom okraji jsou provedena jako posuvná dvouválcová, na druhém okraji jako pevná stolicová ložiska.



Obr. 2-2: Možné pohyby ložisek

2.4. Použité materiály

Z dostupné projektové dokumentace nejsou známy materiály jednotlivých prvků, tudíž jsou uvažovány následovně. Pro ocelové prvky jako ocel nejnižší pevnostní třídy S235. Pro dřevěné prvky jako jehličnaté rostlé dřevo C24 či listnaté rostlé dřevo D30.

2.5. Průřezy na konstrukci

V rámci místního šetření byly zjištěny průřezy a orientace jednotlivých částí konstrukce (Tab. 2-1), které se nezřídka liší od získané projektové dokumentace. Pro základní výpočtový model byla zvolena idealizace jednotlivých průřezů (Tab. 2-2) tak, že byl zanedbán vliv koroze, geometrických imperfekcí a mechanického poškození. Detailní charakteristiky jednotlivých průřezů jsou uvedeny v přílohách části D této bakalářské práce.

Tab. 2-1: Zjištěné použité průřezy na konstrukci

PRVEK	ČÁST	ZJIŠTĚNÝ ROZMĚR [mm]		UVAŽOVANÝ MATERIÁL
Hlavní nosník	Horní pás	2 L	70/6,5; 5	S235
		L	80/7,5	
	Dolní pás	2 L	60/5,5; 5	S235
	Diagonály	2 L	60/6; 5	S235
	Svislice			
Podélný nosník	-	U	50/40;6	S235
Příčný nosník	-	2 L	50/5; 5	S235
Ztužidla	Příčné	L	45/6	S235
	Větrové	L	50/55;6	S235
	Opěrné vzpěry	Ø	50;3,5	S235
Mostiny	-	t	60	rostlé dřevo
Vybavení	Zábradelní pásy	FL	40;5	S235

Tab. 2-2: Idealizované průřezy uvažované na výpočtovém 3D modelu

PRVEK	ČÁST	IDEALIZOVANÝ ROZMĚR [mm]			SKUPINA	VÝROBA
Hlavní nosník	Horní pás	2 LT	70/7; 5	L(CSN)70/7	Obecný průřez	Válcované svařené
		L	80/8	L(CSN)80/8		
	Dolní pás	2 LT	60/6; 5	L(CSN)60/6	Dvojice průřezů	Válcovaný
	Diagonály	2 LT	60/6; 5	L(CSN)60/6	Dvojice průřezů	Válcovaný
	Svislice					
Podélný nosník	-	U	50;40;6;6;6	-	Tenkostěnné profily	Válcovaný
Příčný nosník	-	2 LT	50/5; 5	L(CSN)50/5	Dvojice průřezů	Válcovaný
Ztužidla	Příčné	L	45/5	L(CSN)45/5	Válcované průřezy	Válcovaný
	Větrové	L	50;55;6;6;6	-	Tenkostěnné profily	Válcovaný
	Opěrné vzpěry	Ø	50; 4	-	Tenkostěnné profily	Válcovaný
Mostiny	-	t	60	-	-	-

2.6. Výpočtový model

Trojrozměrný výpočtový model je vytvořen ve výpočetním programu Scia Engineer 2012.0 jako obecná konstrukce XYZ. Jednotlivým prutům byly přiřazeny idealizované průřezy a excentricity tak, aby model co nejvíce odpovídal skutečnému provedení konstrukce.

3. PŘEHLED ZATÍŽENÍ

Níže je uveden pouze stručný výpis jednotlivých zatížení pro idealizovaný stav konstrukce. Jednotlivá zatížení jsou kombinována dle příslušných normativních dokumentů. Podrobný výpočet zatížení a kombinační vztahy jsou uvedeny v části D této bakalářské práce.

3.1. Stálá zatížení

Vlastní tíha	generována výpočetním programem
Mostiny	$g_{lis} = 0,384 \text{ kN/m}^2$
	$g_{jeh} = 0,252 \text{ kN/m}^2$
Zábradlí	$g_{záb} = 0,0157 \text{ kN/m}$

3.2. Proměnná zatížení

Sníh	$s = 0,536 \text{ kN/m}^2$
Vítr	$F_{w,x} = 1,677 \text{ kN/m}^2$
	$F_{w,z,1} = 0,861 \text{ kN}$
	$F_{w,z,2} = 0,431 \text{ kN}$
Dav lidí	$q_{fk} = 4,069 \text{ kN/m}^2$
Soustředěné zat.	$Q_{fwk} = 10 \text{ kN}$
Vodorovná síla	$Q_{flk} = 15,951 \text{ kN}$

Úprava zatížení je provedena pouze pro rovnoměrné zatížení davem lidí a od něj se odvíjející vodorovnou sílu. Soustředěné zatížení je zcela vyloučeno.

$$q_{fk,upr} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{flk,upr} = 1,7 \text{ kN}$$

4. KOMENTÁŘ K VÝSLEDKŮM POSOUZENÍ

Při výpočtu a posouzení jsem pracovala se dvěma modely konstrukce a zatížení. Jako první jsem posoudila konstrukci na mezní stav použitelnosti, abych získala představu ohledně chování konstrukce. Z hlediska mezního průhybu oba dva modely vyhoví s dostatečnou rezervou. Problém jsem zjistila u vlastní frekvence lávky, která není dostatečně vysoká při kmitání ve vodorovném směru. Výpočet z pohledu dynamiky v rámci bakalářské práce nezpracovávám.

Při posouzení mezního stavu únosnosti pro ideální stav konstrukce nevyhovělo podstatné množství prvků:

- podélný nosník na ohyb,
- dolní pás hlavního nosníku na interakci ohybu a tahové osově síly, ale také tlak i vzpěr,
- tlačená diagonála hlavního nosníku na interakci ohybu a osově síly,
- svislice hlavního nosníku na ohyb ve směru ztužujícího polorámu,
- větrové ztužidlo na prostorový vzpěr a jeho následnou interakci s ohybem.

Dalších několik prvků vyhovělo s rezervou menší než 10%:

- mostina na lokální ohyb,
- dolní pás hlavního nosíku na tah,
- tlačená diagonála hlavního nosníku na rovinný vzpěr,
- tažená diagonála větrového ztužidla na interakci ohybu a osově síly.

Úprava zatížení (provoz maximálně 20 osob na lávce současně) reprezentující reálnější působení zatížení na konstrukci přinesla určité změny namáhání jednotlivých prvků konstrukce. Příznivě ovlivnila namáhání prvků od svislého zatížení (mostina, podélný nosník, tah na dolní pás), které na nové zatížení již s rezervou vyhoví. Tlačená diagonála hlavního nosníku vyhoví z hlediska rovinného vzpěru, ale jeho interakce s ohybovým namáháním je nevyhovující. Nevyhoví ani svislice hlavního nosníku. Vzhledem k úpravě pouze svislých zatížení přetrvává problém u prvků namáhaných tlakem (dolní pás a tlačená diagonála větrového ztužidla), který je způsoben zejména silami od větru působícími kolmo na rozpětí konstrukce.

Tlakové namáhání běžně taženého dolního pásu hlavního nosníku je způsobeno tím, že je také pásem příhradoviny větrového ztužidla, které je namáháno právě silami od větru kolmo na rozpětí konstrukce. K tlakovému namáhání přispívá i to, že ocelová konstrukce lávky pro pěší a cyklisty nemá vysokou hmotnost, která by pomáhala vzdorovat zatížení od větru.

Spoje na konstrukci považuji globálně za vyhovující, problém se vyskytuje pouze u svarového přípoje diagonály k dolnímu pásu hlavního nosníku v krajních polích, jenž má nedostatečnou účinnou délku.

5. NAVRŽENÁ OPRAVA NOSNÉ KONSTRUKCE

Vzhledem k významnému překročení únosnosti dolního pásu a svislic hlavního nosníku a diagonál větrového ztužidla i na upravené zatížení (provoz maximálně 20 osob na lávce současně) považuji za nezbytné realizovat na lávce generální opravu nebo přímo realizaci nové konstrukce lávky. Realizace nového objektu přemostujícího řeku Olšavu je však vázána na nemalou finanční investici.

Je nutné také podotknout, že výpočtový model uvažuje průřezy bez zahrnutí vlivu koroze, geometrických imperfekcí a mechanického poškození. Pro výpočet bylo také uvažováno zatížení průřezů do třídy 1 a 2, které při uvažování profilů úhelníků a zahrnutí vlivu koroze změní zatížení alespoň do třídy 3. Výpočtový model také nezahrnuje konstrukční odsazení opěrných vzpěr, které jsou v modelu ideálně modelovány v úrovni příčných vazeb. Všechny výše uvedené skutečnosti zvětšují namáhání již nevyhovujících prvků konstrukce.

5.1. Variantní řešení oprav

5.1.1. Posílení či výměna prutů

Oprava by se týkala minimálně výměny dolních pásů a svislic obou hlavních nosníků, tlačných diagonál větrového ztužidla a části tlačných diagonál hlavního nosníku. Dále by bylo vhodné vyměnit mechanicky poškozené prvky konstrukce (např. od naplavenin při častých povodních v zájmové lokalitě), kterými jsou kromě prutů větrového ztužidla také pruty a spoje opěrných vzpěr.

Toto řešení považuji za poměrně pracné, nicméně ekonomicky příznivé.

5.1.2. Změna statického systému

Změnu navrhuji ukotvením konstrukce ve vodorovném směru ocelovými táhly. Ukotvení předpokládám ve třetinách rozpětí, čímž se statický systém konstrukce změní z prostého nosníku na spojitý nosník o třech polích. Tato úprava by jistě byla přínosná i z hlediska vodorovného kmitání konstrukce. Realizována by mohla být systémem konstrukčních táhel Macalloy 520. Konkrétní specifiky tohoto systému jsou součástí příloh této bakalářské práce.

Je možné, že tato konstrukční úprava již byla v minulosti na lávce realizována, jelikož se o ní zmiňuje dostupná projektová dokumentace. Uvádí, že při tehdejších průzkumu konstrukce byly nalezeny ve třetinách rozpětí otvory pro ocelová táhla a předpokládá, že byla odstraněna při regulaci toku řeky Olšavy a následně již nebyla zpětně realizována.

Toto řešení považuji za efektivní a relativně snadné na provádění, nicméně finančně náročnější než předchozí řešení.

5.2. Dočasná oprava

Jako dočasnou opravu navrhuji odstranit stávající porušený nátěr a korozi a opatřit celou konstrukci novým antikorozním nátěrem. Třívrstvý nátěrový systém:

- Základní nátěr: GEHOLIT-K25-Metallgrund
- Mezinátěr: GEHOLIT-K7-ZB
- Vrchní nátěr: GEHOLIT-K7

Doporučuji také vyměnit dřevěné mostiny za nové prvky z rostlého dřeva pevnosti D30, které budou ošetřeny vakuotlakovou impregnací proti hnilobě, působení hmyzu a škůdců, působení povětrnostních vlivů a vlhkosti (např. impregnační látkou Bochemit Forte Profi). Rozměry jsou shodné s původním provedením. Konkrétní specifiky antikorozních nátěrů a impregnace jsou součástí příloh této bakalářské práce. Doporučuji také umístění tabule s omezením vstupu na lávku pro 20 osob.

6. ZÁVĚR

V rámci této bakalářské práce jsem posoudila hlavní nosnou konstrukci lávky pro pěší a cyklisty v Kunovicích u Uherského Hradiště. Výpočtem jsem zjistila, že některé pruty konstrukce nevyhovují na mezní stav únosnosti, zejména při namáhání způsobené větrem působícím kolmo na rozpětí lávky. V návaznosti na překročení únosnosti některých prvků předpokládám do budoucna generální opravu nebo návrh nové konstrukce v závislosti na finančních možnostech. Prakticky však lávka bude sloužit dál, proto navrhuji alespoň prozatímní opravu provedením nového antikorozního nátěru a výměnou dřevěných mostin. Je však nutné brát v úvahu, že tato „oprava“ dlouhodobě nevyřeší nedostatečnou únosnost jednotlivých prvků nosné konstrukce lávky.

7. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázky:

Obr. 2-1: Schéma hlavního nosníku

Obr. 2-2: Možné pohyby ložisek

Tabulky:

Tab. 2-1: Zjištěné použité průřezy na konstrukci

Tab. 2-2: Idealizované průřezy uvažované na výpočtovém 3D modelu

8. PODKLADY A POUŽITÁ LITERATURA

Podklady:

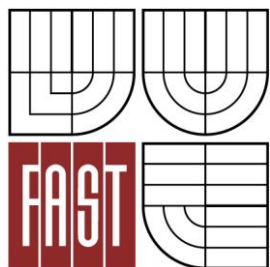
- [1] SMĚLÍKOVÁ, Petra. *Lávka pro pěší. Část B. Analýza stávající konstrukce. Část D. Statický výpočet*. VUT v Brně, Fakulta stavební, 2013.

Internetové zdroje:

- [2] Tension Systems, s.r.o. – Produkty – Táhla Macalloy 460. *Systém konstrukčních táhel Macalloy* [online]. ©2013[cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.tension.cz/produkty-tahla520.php>.
- [3] O.S.A.: Ocelové konstrukce. O.S.A. s.r.o [online]. ©2013[cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.osa.eu/cz/ocelove-konstrukce>.
- [4] Bochemit FORTE – Bochemie. *Bochemie Group a. s.* [online]. ©2013[cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.bochemie.cz/fungicidy/produkty/bochemit-forte-profi-1.aspx>.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

LÁVKA PRO PĚŠÍ FOOTBRIDGE

D. STATICKÝ VÝPOČET DESIGN CALCULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETRA SMĚLÍKOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2013

OBSAH

Kapitola 1 VSTUPNÍ PARAMETRY VÝPOČTU

1.	GEOMETRIE	5
2.	MATERIÁL	5
2.1.	Dřevo	5
2.2.	Ocel	6
3.	PRŮŘEZY	7
4.	VZPĚRNÉ DÉLKY	7
4.1.	Pásky nosníků	7
4.2.	Výplňové pruty	7
5.	POSTUP VÝPOČTU	7
6.	VÝPOČTOVÝ MODEL KONSTRUKCE	7

Kapitola 2 ZATÍŽENÍ

1.	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	9
1.1.	Vlastní tíha	9
1.2.	Ostatní stálá	9
2.	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	9
2.1.	Sníh	9
2.2.	Vítr	10
2.3.	Námraza	13
2.4.	Teplota	14
2.5.	Doprava	14
3.	MIMOŘÁDNÁ ZATÍŽENÍ	14
4.	DYNAMICKÁ ODEZVA KONSTRUKCE	15
4.1.	Dynamické modely zatížení chodci	15
5.	KOMBINACE	15
5.1.	Sestavy pro lávky pro pěší	15
5.2.	Kombinace pro MSÚ	15
5.3.	Kombinace pro MSP	15
5.4.	Součinitele zatížení	16
5.5.	Součinitele ψ	16

Kapitola 3 POSOUZENÍ MSP

1.	IDEALIZOVANÝ STAV	17
1.1.	Průhyb konstrukce	17
1.2.	Vlastní frekvence konstrukce	17
2.	REÁLNÝ STAV	18
2.1.	Průhyb konstrukce	18
2.2.	Vlastní frekvence konstrukce	18
3.	KOMENTÁŘ K VÝPOČTU	19

Kapitola 4 POSOUZENÍ MSÚ - IDEALIZOVANÝ STAV

1.	MOSTINA	20
1.1.	Výpočet na 2D modelu prvku	20
1.2.	Ruční výpočet	23
1.3.	Porovnání	25
2.	PODÉLNÝ NOSNÍK	26
2.1.	Výpočet na 2D modelu prvku	26
2.2.	Výpočet na 3D modelu prvku	29
2.3.	Porovnání	30
3.	HLAVNÍ NOSNÍK	31
3.1.	Dolní pás	31
3.2.	Horní pás	35
3.3.	Diagonály	39
3.4.	Svislice	43
3.5.	Porovnání výpočet vnitřních sil	48
4.	ZTUŽUJÍCÍ POLORÁM	50
4.1.	Příčné nosníky	50
4.2.	Výztuhy	52
4.3.	Tuhost	54
5.	VĚTROVÉ ZTUŽIDLO	56
5.1.	Tažená diagonála	56
5.2.	Tlačená diagonála	58
6.	KOMENTÁŘ K VÝPOČTU	62

Kapitola 5 POSOUZENÍ MSÚ - REÁLNÝ STAV

1.	ZATÍŽENÍ	64
1.1.	Nezměněná zatížení	64

1.2.	Upravená zatížení	64
1.3.	Vyloučená zatížení	65
2.	POSOUZENÍ MSÚ	65
2.1.	Opěrná vzpěra	65
2.2.	Svislice	65
2.3.	Ostatní prvky konstrukce	66
3.	KOMENTÁŘ K VÝPOČTU	67

Kapitola 6 POSOUZENÍ VYBRANÝCH SPOJŮ

1.	SVAROVÝ SPOJ	68
1.1.	Koutový svar u přiléhajícího ramene	68
1.2.	Koutový svar u odstávajícího ramene	69
2.	ŠROUBOVÝ SPOJ	69
2.1.	Tah	70
2.2.	Smyk	70
2.3.	Kombinace stříhu a tahu	70
2.4.	Posouzení	70

Kapitola 7 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

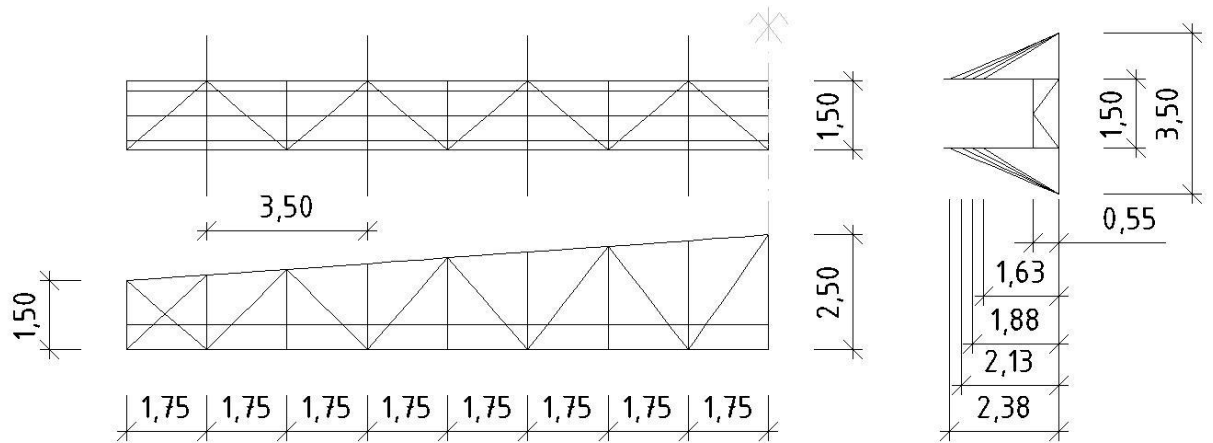
Kapitola 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Kapitola 7 POUŽITÁ LITERATURA

Kapitola 1 VSTUPNÍ PARAMETRY VÝPOČTU

1. GEOMETRIE

Nosná konstrukce lávky na rozpětí 28m je symetrická prostorová prutová soustava se sedlovým horním pásem. Základní geometrie konstrukce pro výpočet je popsána na níže uvedeném schématu.



Obr. 1-1: Základní rozměry symetrické poloviny konstrukce

2. MATERIÁL

2.1. Dřevo

2.1.1. Rostlé jehličnaté dřevo C24

Průměrná hodnota hustoty $\rho_{mean} = 420 \text{ kg/m}^3$

Pevnost v ohybu $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny $f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu kolmo k vláknům $f_{t,90,k} = 0,5 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny $f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku kolmo k vláknům $f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$

Pevnost ve smyku $f_{v,k} = 2,5 \text{ MPa}$

Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny

$$E_{0,mean} = 11 \text{ GPa}$$

5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny $E_{0,05} = 7,4 \text{ GPa}$

Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům $E_{90,mean} = 0,37 \text{ GPa}$

Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo ve smyku $G_{mean} = 0,69 \text{ GPa}$

2.1.2. Rostlé listnaté dřevo D30

Průměrná hodnota hustoty	$\rho_{mean} = 640 \text{ kg/m}^3$
Pevnost v ohybu	$f_{m,k} = 30 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k} = 18 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k} = 0,6 \text{ MPa}$
Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 23 \text{ MPa}$
Pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k} = 8 \text{ MPa}$
Pevnost ve smyku	$f_{v,k} = 3 \text{ MPa}$
Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean} = 10 \text{ GPa}$
5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05} = 8 \text{ GPa}$
Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean} = 0,64 \text{ GPa}$
Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo ve smyku	$G_{mean} = 0,6 \text{ GP}$

2.2. Ocel**2.2.1. S235**

Objemová hmotnost	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
Mez pevnosti	$f_u = 360 \text{ MPa}$
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti v tahu a tlaku	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku	$G = 81 \text{ GPa}$

2.2.2. Šrouby

Jakostní třída šroubů, které jsou na konstrukci použité pro spojení prutů opěrných vzpěr či jejich připojení k hlavnímu nosníku, nejsou v dostupné projektové dokumentaci uvedeny. Pro výpočet budu předpokládat jakostní třídu 4.6.

Mez kluzu	$f_{yb} = 240 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_{ub} = 400 \text{ MPa}$

3. PRŮŘEZY

Veškeré průřezy použité na nosné konstrukci jsou třídy 1 nebo 2, kdy bylo využito (po konzultaci s vedoucím práce) možnosti zatřídění průřezů jako přechýlujících částí pásnic. Podrobnější charakteristiky jednotlivých průřezů jsou uvedeny v části E této bakalářské práce (Přílohy, kapitola 1.).

Složené členěné pruty jsou posuzovány jako jeden celistvý prut, jelikož je splněna podmínka $a \leq 15i_{min}$.

4. VZPĚRNÉ DÉLKY

4.1. Pásy nosníků

Vzpěrné délky uvažuji při vybočení v rovině nosníku jako teoretickou vzdálenost styčníků, při vybočení z roviny nosníku jako vzdálenost bodů zamezujících tomuto vybočení.

4.2. Výplňové pruty

Vzpěrné délky uvažuji při vybočení v rovině prutu jako vzdálenost středů přípojí prutu, při vybočení z roviny jako emetickou vzdálenost styčníků.

5. POSTUP VÝPOČTU

Výpočet je rozdělen na několik na sebe navazujících částí. Nejprve jsem posoudila konstrukci z hlediska mezního stavu použitelnosti, poté jsem navázala posouzením mezního stavu únosnosti.

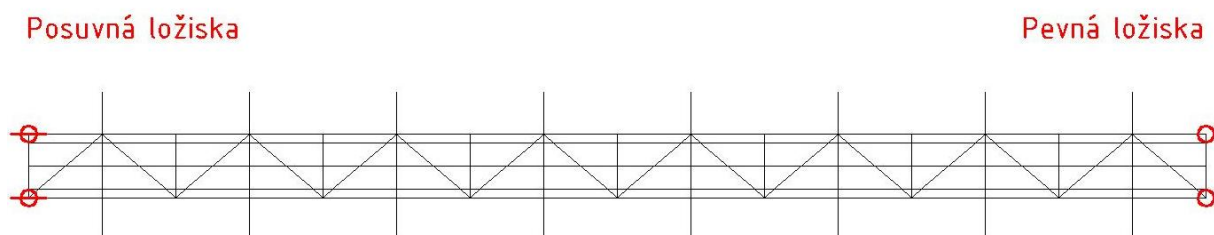
Mezní stav únosnosti je nejdříve posouzen pro idealizovaný stav a na základě jeho vyhodnocení je provedeno posouzení pro tzv. reálný stav. Výsledky tohoto posouzení vedou k vyhodnocení stavu konstrukce a návrhu jejích oprav.

Výpočty jednotlivých prvků jsou mezi sebou provázány z důvodu ověření správnosti modelů ve výpočetním programu. Výpočet na 2D modelu prvku má zpětnou vazbu na ruční výpočet a výpočet na 3D modelu konstrukce má zpětnou vazbu na výpočet na 2D modelu prvku.

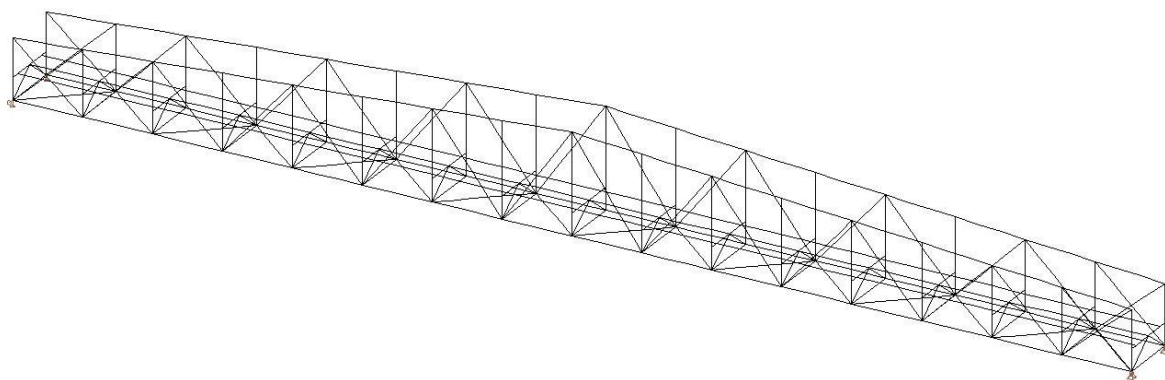
6. VÝPOČTOVÝ MODEL KONSTRUKCE

Pro výpočty vnitřních sil jsem použila ruční výpočet nebo výpočet ve studentské verzi výpočetního programu Scia Engineer, 2012.0. Ruční výpočet jsem provedla na zjednodušeném 2D modelu v rovině, ve výpočetním programu jsem pracovala jak 2D modely jednotlivých prvků, tak i s 3D modelem celé konstrukce ve dvou variantách – pro idealizovaný a reálný stav. Konstrukce je modelována jako „Obecná XYZ“. Jednotlivým prutům jsou nastaveny excentricity a připojení prutů jsou modelována tak, aby model odpovídal co nejvíce skutečnému provedení konstrukce.

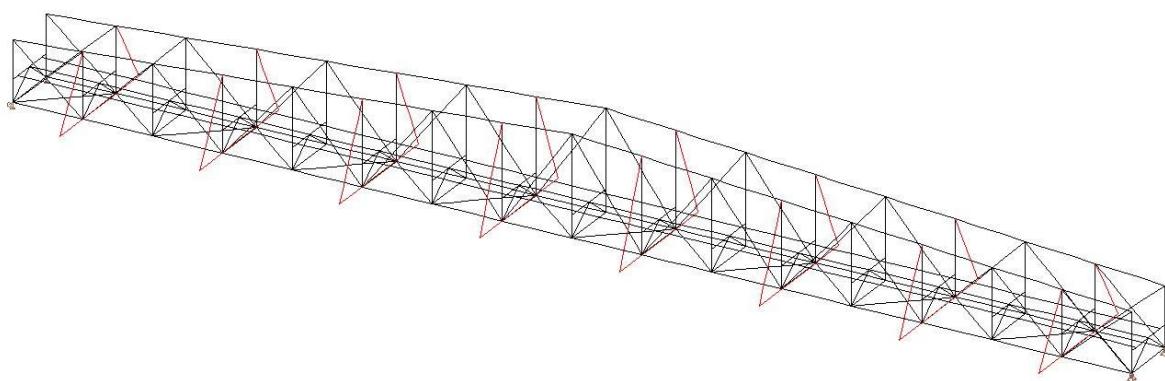
Uložení konstrukce je modelováno jako prosté podepření s umožněním pohybů dle následujícího schématu.



Obr. 1-2: Možné pohyby ložisek



Obr. 1-3: Výpočtový model idealizovaného stavu (bez opěrných vzpěr)



Obr. 1-4: Výpočtový model reálného stavu (s opěrnými vzpěrami)

Kapitola 2 ZATÍŽENÍ

Níže uvedené skutečnosti jsou stanoveny na základě příslušných normativních dokumentů, konkrétně ČSN EN 1990 [1] a ČSN EN 1991 [2], [3], [4] a [5].

1. STÁLÁ ZATÍŽENÍ

1.1. Vlastní tíha

Vlastní tíha ocelové konstrukce je při posouzení výpočetním programem generována programem Scia Engineer 2012.0 automaticky, při ručním posouzení je spočítána ručně.

1.2. Ostatní stálá

1.2.1. Mostiny

V dostupné projektové dokumentaci není blíže specifikován materiál mostin, uvažují tedy dvě možnosti rostlého dřeva

- Listnaté dřevo D30 $g_{lis} = t \cdot \gamma_{D30} = 0,06 \cdot 6,40 = 0,384 \text{ kN/m}^2$
- Jehličnaté dřevo C24 $g_{jeh} = t \cdot \gamma_{C24} = 0,06 \cdot 4,20 = 0,252 \text{ kN/m}^2$

1.2.2. Zábradlí

Zábradelní pásy doplňují mostní konstrukci ve čtyřech úrovních. Pro každý jeden hlavní nosník je ve třech úrovních instalováno po celé délce konstrukce (28m) a ve čtvrté úrovni pouze přes 11 polí konstrukce (19,25m). Přetížení zábradlím uvažují jako spojitě rovnoměrné zatížení v úrovni dolního pásu hlavního nosíku.

- $G = 1,57 \text{ kg/m}$ $g_{záb} = G \cdot 10 \text{ kN} = 15,7 \text{ N/m} = 0,0157 \text{ kN/m}$
 $g_{záb(28,00)} = 3 \cdot 0,0157 = 0,0471 \text{ kN/m}$
 $g_{záb(19,25)} = 1 \cdot 0,0157 = 0,0157 \text{ kN/m}$

2. PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ

2.1. Sníh

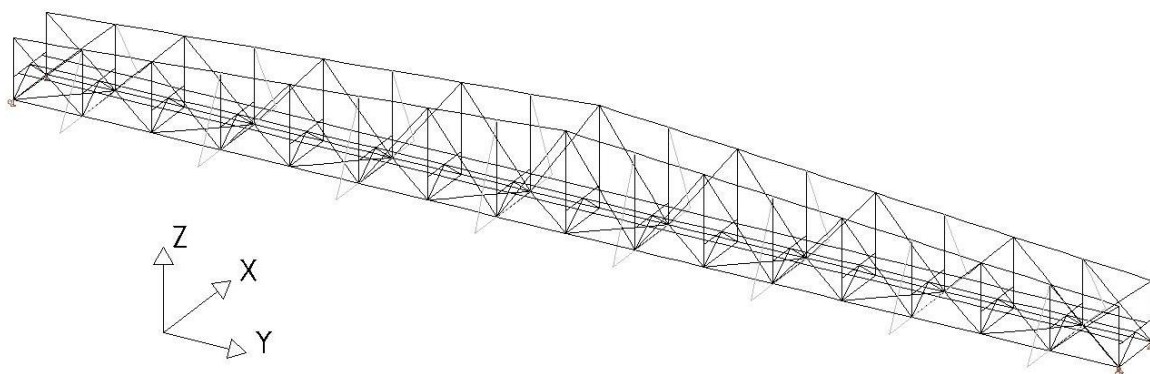
Zatížení sněhem se na lávkách uvažuje pouze s vyloučením zatížením od dopravy. Vzhledem ke sklonu pásnic ztužujícího úhelníku na horním pásu hlavního nosníku $= 45^\circ$ uvažují, že se na něm sníh neudrží a bude působit tedy pouze na mostovku.

- Tvarový součinitel $\mu_i = \mu_1 = 0,80$ $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$
- Součinitel expozice $C_e = 1,00$ Normální typ krajiny
- Tepelný součinitel $C_t = 1,00$ Nedochází k odtávání
- Charakteristická hodnota $s_k = 0,67 \text{ kPa}$ dle [19]; sněhová oblast I.
- Celkové zatížení sněhem $s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,67 = 0,536 \text{ kN/m}^2$

Zatížení sněhem na mostovce je výrazně menší než zatížení od dopravy, konkrétně zatížení davem lidí (viz. kapitola 2.5.1.), se kterým se vzájemně vylučuje, tudíž jej nebudu dále ve výpočtech uvažovat.

2.2. Vítr

Síly od větru budou přepočítány do jednotlivých styčníků nezatížené příhradové konstrukce. Sání větru uvažuji stejnou hodnotou jako je tlak větru na konstrukci. Zatížení tlakem větru na konstrukci je uvažováno ve třech směrech dle následujícího schématu.



Obr. 2-1: Směry působení větru na konstrukci

2.2.1. Síly ve směru X – zjednodušená metoda

Pro účel bakalářské práce bylo stanoveno, že dynamický výpočet odezvy konstrukce není nutný a je tedy možné použít zjednodušenou metodu výpočtu.

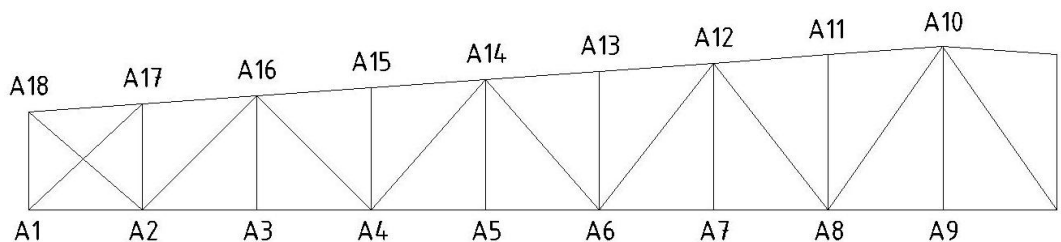
$$F_{w,x} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x}$$

$$F_{w,x} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 4,294 \cdot 1 = 1677,344 \text{ N/m}^2$$

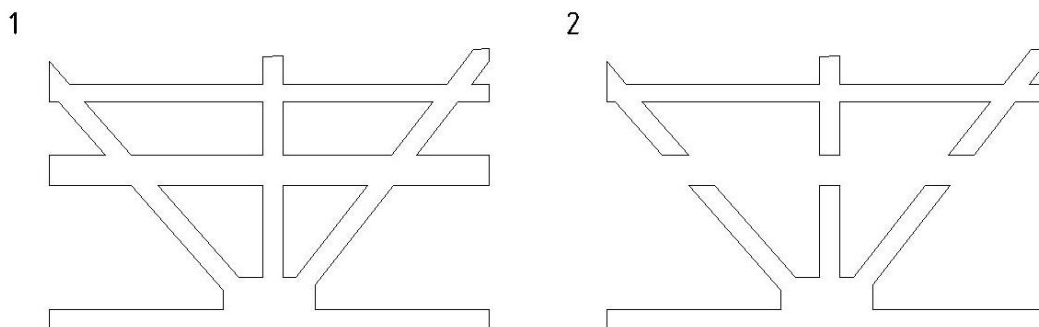
$$F_{w,x} = 1,677 \text{ kN/m}^2$$

- Měrná hmotnost vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
- Základní rychlost větru $v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$
 - Součinitel směru větru $C_{dir} = 1,0$
 - Součinitel ročního období $C_{season} = 1,0$
 - Základní rychlost větru (II. větrová oblast) $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$
- Součinitel zatížení větrem $C = c_e \cdot c_{f,x} = 1,867 \cdot 2,3 = 4,294$
 - Výška nad terénem $z = h_1 + \frac{h}{2} = 3,5 + \frac{(1,5+2,5)/2}{2} = 4,5 \text{ m}$
 - Kategorie terénu II. $z_0 = 0,05 \text{ m}$
 $z_{min} = 2 \text{ m}$

- $z_{max} = 200 \text{ m}$
 $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$
- Součinitel terénu $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$
 - Součinitel drsnosti terénu $z_{min} \leq z \leq z_{max}$
 $2,0 \leq 4,5 \leq 200 \text{ m}$
 $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_{0,II}}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{4,5}{0,05}\right) = 0,855$
 - Součinitel orografie $c_0(z) = 1,0$
 - Střední rychlost větru $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,855 \cdot 1 \cdot 25$
 $v_m(z) = 21,375 \text{ m/s}$
 - Součinitel turbulence $k_1 = 1,0$
 - Směrodatná odchylka turbulence $\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_1 = 0,19 \cdot 25 \cdot 1 = 4,75 \text{ m/s}$
 - Intenzita turbulence $I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{4,75}{21,375} = 0,222$
 - Maximální dynamický tlak $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$
 $q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,222] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 21,375^2$
 $q_p(z) = 729,312 \text{ Pa}$
 - Základní dynamický tlak větru $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2(z) = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625 \text{ Pa}$
 - Součinitel expozice $c_e = \frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{729,312}{390,625} = 1,867$
 - Součinitel sil $c_{f,x} = c_{fx,0} = 2,3$
- Referenční plocha $A_{ref,x} = 1 \text{ m}^2$



Obr. 2-2: Označení styčníků pro jednotlivé referenční plochy



Obr. 2-3: Referenční plochy vybraného styčnicku č. A6.

1 – Včetně mostin, 2 – Bez mostin.

Tab. 2-1: Hodnoty sil od větru pro jednotlivé styčnický

i	1 - Hlavní nosník včetně mostin		2 - Hlavní nosník bez mostin	
	$A_{ref,i,x}$ [m ²]	$F_{w,i,x} = F_{w,x} \cdot A_{ref,i,x}$ [kN]	$A_{ref,i,x}$ [m ²]	$F_{w,i,x} = F_{w,x} \cdot A_{ref,i,x}$ [kN]
1	0,317	0,532	0,222	0,372
2	0,574	0,963	0,374	0,626
3	0,417	0,700	0,207	0,347
4	0,680	1,141	0,471	0,790
5	0,553	0,927	0,342	0,574
6	0,723	1,213	0,521	0,874
7	0,572	0,960	0,362	0,607
8	0,830	1,392	0,628	1,053
9	0,692	1,161	0,482	0,809
10	0,808	1,355	-	1,355
11	0,653	1,096	-	1,096
12	0,879	1,474	-	1,474
13	0,709	1,189	-	1,189
14	0,853	1,431	-	1,431
15	0,717	1,202	-	1,202
16	0,828	1,388	-	1,388
17	0,897	1,504	-	1,504
18	0,429	0,720	-	0,720

2.2.2. Směr Z – zjednodušená metoda

Účinky větru ve směru Z uvažují pouze pro posouzení ložiska.

$$F_{w,z} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,z}$$

$$F_{w,z} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 1,68 \cdot 42 = 27562,5 \text{ N}$$

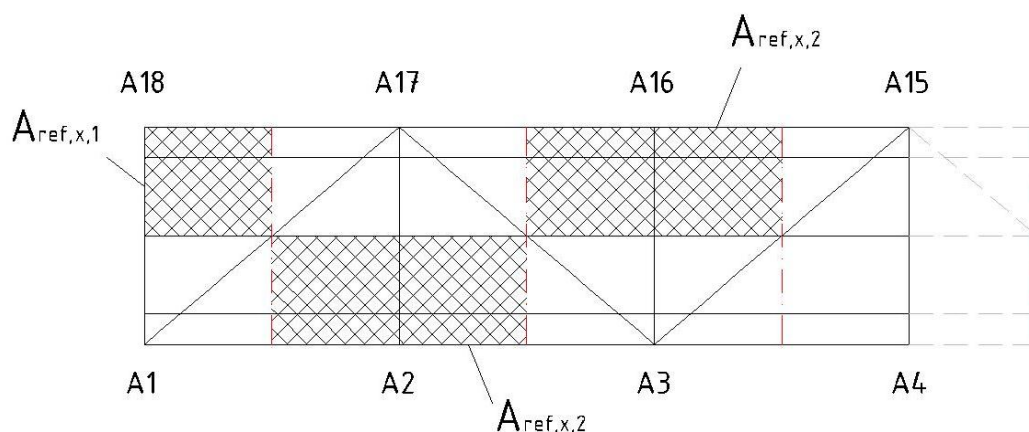
$$F_{w,z} = 27,563 \text{ kN}$$

- Měrná hmotnost vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
- Základní rychlost větru $v_b = 25 \text{ m/s}$
- Součinitel zatížení větrem $C = c_e \cdot c_{f,x} = 1,867 \cdot 0,9 = 1,680$
 - Součinitel expozice $c_e = 1,867$
 - Součinitel sil $c_{f,z} = \pm 0,9$
- Referenční plocha $A_{ref,x} = L \cdot b = 28 \cdot 1,5 = 42 \text{ m}^2$

$$F_{w,z,1} = \frac{27562,5}{2 \cdot (17 - 1)} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 1,68 \cdot (1,75 \cdot 0,75) = 861,328 \text{ N}$$

$$F_{w,z,1} = 0,861 \text{ kN}$$

$$F_{w,z,2} = \frac{F_{w,z,1}}{2} = \frac{0,861}{2} = 0,431 \text{ kN}$$



Obr. 2-4: Schéma jednotlivých referenčních ploch

2.2.3. Směr Y

Účinky větru ve směru Y jsou pro příhradové nosníky rovny 50% sil od větru ve směru X. Nejsou ovšem oproti těmto silám a rozměrům konstrukce významné, ve výpočtu je tedy nebude uvažovat.

2.3. Námraza

Účinky námrazy uvažují pouze pro účinky větru, kdy se zvětšuje referenční plocha. Jelikož tato problematika není v Eurokódech zcela dořešená, normativní dokument [4] odkazuje na ČSN 73 0035 [11].

- Základní tloušťka námrazy $t_{gl} = 10 \text{ mm}$
 - Námrazová oblast L (= lehká) [16]
 - Doba opakování hodnoty 1 krát za 10 let

2.4. Teplota

Zatížení teplotou není s ohledem na malý odpor válcových ložisek v rámci této bakalářské práce uvažováno.

2.5. Doprava

2.5.1. Rovnoměrné zatížení

Lávka je určena pouze pro pěší a cyklistickou dopravu. Zatížení davem lidí je významnější než zatížení cyklistickou dopravou, budu tedy uvažovat pouze rozhodující zatížení davem lidí. Lávka nepodléhá extrémnímu zatížení hustým proudem lidí.

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{L + 30} = 2,0 + \frac{120}{28 + 30} = 4,069 \text{ kN/m}^2$$

$$2,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{fk} \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$2,5 \leq 4,069 \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{fk} = q_{fk} \cdot L \cdot b_{mostin} = 4,069 \cdot 28 \cdot 1,4 = 159,505 \text{ kN}$$

2.5.2. Soustředěné zatížení

Na lávku je zamezeno vjetí vozidel, tudíž uvažuji soustředěné zatížení působící na ploše $0,1 \times 0,1 \text{ m}^2$. Soustředěné zatížení budu uvažovat pouze pro lokální posouzení prvků (mostina, podélník, příčník, ev. příčný polorám), vždy v nejméně příznivé poloze pro daný prvek.

$$Q_{fwk} = 10 \text{ kN}$$

2.5.3. Obslužné vozidlo

Na lávce se z prostorových důvodů (šířka lávky je 1,5m) neuvažuje se zatížením od obslužného vozidla Q_{serv} .

2.5.4. Vodorovná síla

Vodorovná síla působí v podélném směru lávky v úrovni horního povrchu dřevěných mostin. Vylučuje se se svislým soustředěným zatížením Q_{fwk} .

$$Q_{flk} = \max \{10\% \cdot Q_{fk}; 60\% \cdot Q_{serv}\} = \max \{0,1 \cdot 159,505; 0,6 \cdot 0\} = 15,951 \text{ kN}$$

3. MIMOŘÁDNÁ ZATÍŽENÍ

Mimořádná zatížení lávky mohou vzniknout buď od nárazu silniční dopravy pod lávkou (do podpěry nebo na nosnou konstrukci lávky) nebo od mimořádného výskytu těžkého vozidla na lávce. Vzhledem k charakteru a prostorové dispozici lávky tedy nenastane žádná mimořádná návrhová situace.

4. DYNAMICKÁ ODEZVA KONSTRUKCE

V rámci této bakalářské práce bude zjištěna výpočetním programem Scia Engineer 2012.0 pouze vlastní frekvence konstrukce od stálých zatížení, dle které určím, zda je nutný výpočet a posouzení hodnot zrychlení částí nosné konstrukce. Vlastní výpočet, např. kmitání způsobeného větrem dle ČSN 1991-1-4 [4], nebude v rámci této bakalářské práce řešen.

4.1. Dynamické modely zatížení chodci [5]

Nesmí vzniknout rezonance mezi silami buzenými chodci a některou z vlastních frekvencí lávky. Normálně se pohybující chodci budí ve svislém směru síly s frekvencí 1 až 3 Hz a ve vodorovném směru 0,5 až 1,5 Hz.

5. KOMBINACE

Při sestavování kombinací neuvažují montážní stavy konstrukce, jelikož konstrukce reálně existuje. Níže uvádím vybrané hodnoty a vztahy, které budou potřebné k výpočtu.

5.1. Sestavy pro lávky pro pěší

Tab. 2-2: Definice sestav zatížení (charakteristické hodnoty) dle Tab. 5.1 [5]

Zatěžovací systém	Svislé síly		Vodorovné síly
	Rovnoměrné zatížení	Obslužné vozidlo	
gr1	q_{fk}	0	Q_{flk}

5.2. Kombinace pro MSÚ

Tab. 2-3: Návrhové hodnoty zatížení pro mezní stav STR/GEO, soubor B dle Tab. A2.4(B) [1]

Trvalé a dočasné návrhové situace	Stálá zatížení		Hlavní užité zatížení	Vedlejší proměnná zatížení	
	Nepříznivá	Příznivá		Nejúčinnější	Ostatní
6.10	$\gamma_{Gj,sup} \cdot G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} \cdot G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
6.10a	$\gamma_{Gj,sup} \cdot G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} \cdot G_{kj,inf}$		$\gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
6.10b	$\xi \cdot \gamma_{Gj,sup} \cdot G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} \cdot G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

5.3. Kombinace pro MSP

Tab. 2-4: Návrhové hodnoty zatížení pro mezní stav použitelnosti dle Tab. A2.6 [1]

Kombinace		Stálá zatížení G_d		Proměnná zatížení Q_d	
		Nepříznivá	Příznivá	Hlavní	Vedlejší
6.14	Charakteristická	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
6.15	Častá	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$
6.16	Kvazistálá	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

5.4. Součinitele zatížení [1]

$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$ Nepříznivá zatížení

$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$ Příznivá zatížení

$\gamma_Q = 1,35$ Nepříznivá zatížení chodci

$\gamma_Q = 1,50$ Ostatní zatížení dopravou a další proměnná zatížení

$\xi = 0,85$

5.5. Součinitele ψ

Tab. 2-5: Hodnoty součinitelů ψ pro lávky pro chodce dle Tab. A2.2 [1]

Zatížení	Značka	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Zatížení dopravou	gr1	0,4	0,4	0
	Q_{fw}	0	0	0
Zatížení větrem	F_w	0,3	0,2	0

Kapitola 3 POSOUZENÍ MSP

V této kapitole bude posuzován 3D model mostu, uvažují následující předpoklady výpočtu:

- průřezy použité na modelu jsou idealizované, bez zahrnutí koroze apod.,
- neuvažují zatížení mostu teplotou,
- maximální dosažený průhyb je uvažován jako vektorový součet svislého a vodorovného průhybu konstrukce.

Vzhledem ke skutečnosti, že mnou vyšetřovaná konstrukce je symetrická a také symetricky zatížená, předpokládám maximální deformace v okolí poloviny rozpětí konstrukce. Jako výsledné deformace konstrukce uvažují deformace styčníků na dolním pásu hlavního nosníku stanovené výpočtovým programem (viz. Přílohy, kapitola 7. a 8.).

1. IDEALIZOVANÝ STAV

1.1. Průhyb konstrukce

$$u_{z(N71)} = -43,515 \text{ mm}$$

$$u_{y(N71)} = 21,430 \text{ mm}$$

$$|u| = \sqrt{u_z^2 + u_y^2} = \sqrt{43,515^2 + 21,43^2} = 48,506 \text{ mm}$$

$$u_{lim} = -\frac{L}{250} = -\frac{28000}{250} = -112 \text{ mm}$$

$$|u| \leq |u_{lim}|$$

$$49 \leq 112 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

1.2. Vlastní frekvence konstrukce

Pro výpočet vlastní frekvence konstrukce jsem použila kombinaci všech stálých zatížení.

Tab. 3-1: Vlastní tvary konstrukce

N	f [Hz]	omega [1/sec]	omega^2 [1/sec^2]	T [sec]
<i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská verze*</i> <i>*Studentská ve</i>				
Kombinace hmot : CM1				
1	2,44	15,32	234,59	0,41
2	6,05	37,99	1443,38	0,17
3	6,47	40,65	1652,27	0,15
4	7,27	45,66	2085,13	0,14
5	8,26	51,87	2690,22	0,12
6	8,95	56,26	3165,58	0,11
7	10,02	62,93	3959,78	0,10
8	10,39	65,27	4260,54	0,10
9	10,49	65,88	4340,68	0,10
10	12,06	75,78	5743,05	0,08

Vlastní frekvence při vodorovném kmitání (1. vlastní tvar):

$$f_{vod} > f_{zákl}$$

$$2,44 \not> 5 \text{ Hz}$$

Vlastní frekvence při svislém kmitání (3. vlastní tvar):

$$f_{svis} > f_{zákl}$$

$$6,47 > 5 \text{ Hz}$$

2. REÁLNÝ STAV

2.1. Průhyb konstrukce

$$u_{z(N69)} = -32,111 \text{ mm}$$

$$u_{y(N69)} = 46,655 \text{ mm}$$

$$|u| = \sqrt{u_z^2 + u_y^2} = \sqrt{32,111^2 + 46,655^2} = 56,637 \text{ mm}$$

$$u_{lim} = -\frac{L}{250} = -\frac{28000}{250} = -112 \text{ mm}$$

$$|u| \leq |u_{lim}|$$

$$57 \leq 112 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

2.2. Vlastní frekvence konstrukce

Tab. 3-2: Vlastní tvary konstrukce

N	f [Hz]	omega [1/sec]	omega^2 [1/sec^2]	T [sec]
Studentův verze *Studentův verze* *Studentův verze* *Studentův verze* *Studentův verze* *Stu				
Kombinace hmot : CM1				
1	2,39	15,00	224,98	0,42
2	5,99	37,60	1414,13	0,17
3	6,27	39,40	1552,71	0,16
4	7,43	46,66	2177,27	0,13
5	8,27	51,96	2700,27	0,12
6	9,09	57,12	3262,26	0,11
7	9,81	60,37	3644,27	0,10
8	10,42	65,45	4283,66	0,10
9	10,51	66,05	4362,04	0,10
10	12,15	76,35	5829,10	0,08

Vlastní frekvence při vodorovném kmitání (1. vlastní tvar):

$$f_{vod} > f_{zákl}$$

$$2,39 \not> 5 \text{ Hz}$$

Vlastní frekvence při svislém kmitání (3. vlastní tvar):

$$f_{vis} > f_{zákl}$$

$$6,27 > 5 \text{ Hz}$$

3. KOMENTÁŘ K VÝPOČTU

Vlastní frekvence lávky je dostatečná pouze při svislém kmitání, tudíž je nutný výpočet zrychlení vodorovného kmitání, na jehož základě se stanoví kritéria pohody chodců. Vypočtené vlastní frekvence konstrukce nespádají do intervalů frekvencí, které jsou vyvolány normálně se pohybujícími chodci. Výpočet v rámci této bakalářské práce nebude řešen.

Kapitola 4 POSOUZENÍ MSÚ – IDEALIZOVANÝ STAV

V této kapitole bude posuzován idealizovaný model nosné konstrukce mostu, uvažují následující předpoklady výpočtu:

- průřezy použité na modelu jsou idealizované, bez zahrnutí koroze apod.,
- konstrukce bez ztužujících polorámů v každém druhém styčniku,
- účinky větru jsou uvažovány jako pro dopravou nezatížený most,
- neuvažují zatížení mostu teplotou,
- součinitele spolehlivosti uvažují v následujících hodnotách:
 - $\gamma_{M0} = 1,00$
 - $\gamma_{M1} = 1,10$
 - $\gamma_{M2} = 1,25$

1. MOSTINA

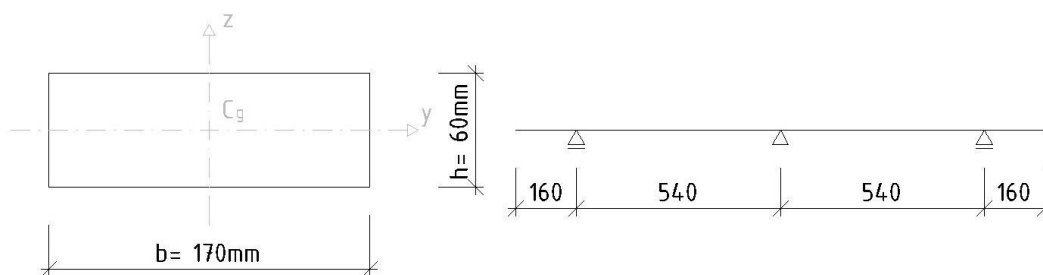
1.1. Výpočet na 2D modelu prvku

Podrobný protokol o výpočtu vnitřních sil je uveden v části E této bakalářské práce.

1.1.1. Geometrie a statické schéma

Šířka prkna je určena na základě měření provedeného při místním šetření. Nejužší prkna mají šířku 130mm, nejširší pak 210mm. Šířky prken jsou rovnoměrně rozmístěny v uvedeném intervalu, tudíž mohou šířku prkna uvažovat jako průměr minimální a maximální naměřené hodnoty.

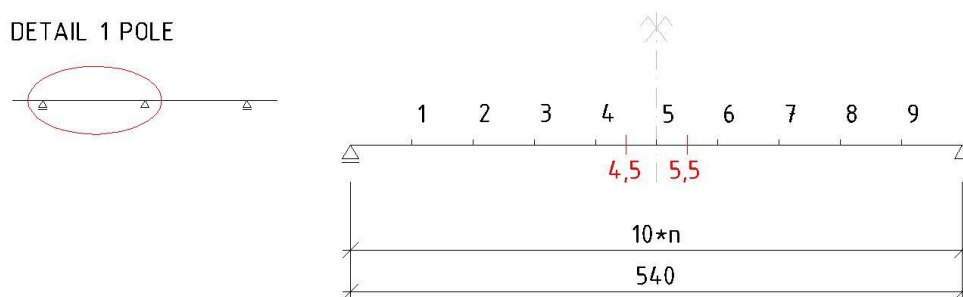
$$b = \frac{130 + 210}{2} = 170 \text{ mm}$$



Obr. 4-1: Geometrie a statické schéma

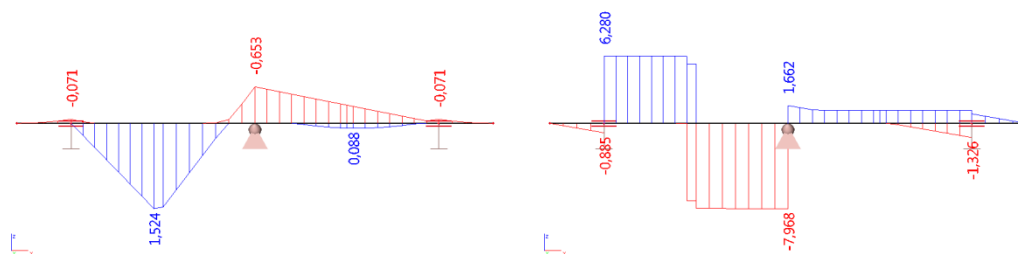
Umístění soustředěného zatížení pro výpočet maximálního momentu v poli jsem provedla dle Tabulek příčinkových pořadnic [17]. Tabulky předpokládají dělení pole nosníku na 10 částí, přičemž pro maximální moment uvádí polohu soustředěného zatížení v okolí řezu č. 5, nejdále však mezi řezy č. 4 a č. 6. Pro posouzení prvku předpokládám umístění soustředěného zatížení v řezu č. 4,5 nebo č. 5,5 dle následujícího obrázku.

DETAIL 1 POLE

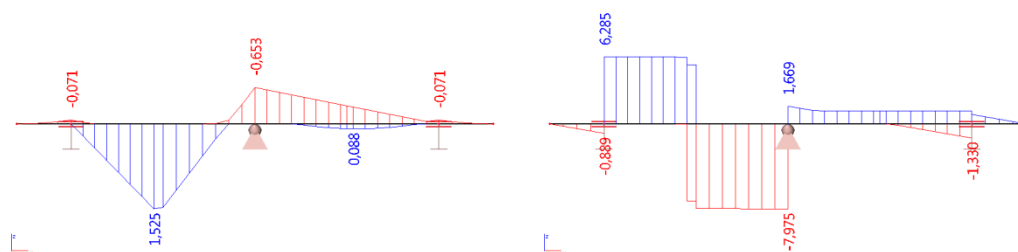


Obr. 4-2: Dělení pole nosníku dle Tabulek příčinkových pořadnic

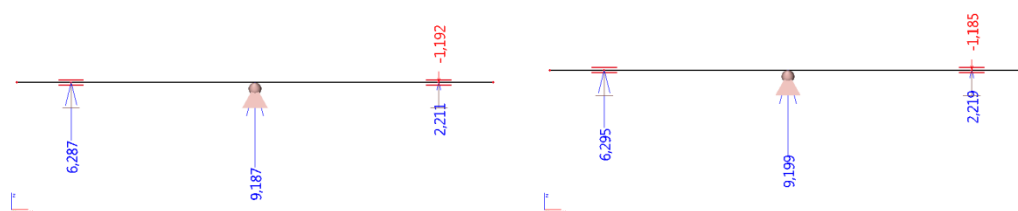
1.1.2. Vnitřní síly na prvku



Obr. 4-3: Vnitřní síly na prvku pro C24 (ohybové momenty, posouvající síly)



Obr. 4-4: Vnitřní síly na prvku pro D30 (ohybové momenty, posouvající síly)



Obr. 4-5: Reakce na prvku pro C24 a D30

1.1.3. Posouzení MSÚ**1.1.3.1. Ohyb**

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 170 \cdot 60^2 = 102000 \text{ mm}^3$$

Jehličnaté dřevo C24:

$$M_{y,Ed(C24)} = 1,524 \text{ kNm}$$

$$f_{m,y,d(C24)} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,3} = 12,923 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d(C24)} = \frac{M_{y,Ed(C24)}}{W} = \frac{1,524 \cdot 10^6}{102000} = 14,941 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{14,941}{12,923} = \mathbf{1,16 \not\leq 1}$$

NEVYHOVÍ

Listnaté dřevo D30:

$$M_{y,Ed(D30)} = 1,525 \text{ kN}$$

$$f_{m,y,d(D30)} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{30}{1,3} = 16,154 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d(D30)} = \frac{M_{y,Ed(D30)}}{W} = \frac{1,525 \cdot 10^6}{102000} = 14,951 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{14,951}{16,154} = \mathbf{0,93 \leq 1}$$

VYHOVÍ

Vzhledem ke skutečnosti, že při posouzení na ohyb vyhoví pouze prvek předpokládané třídy pevnosti dřeva D30, dále bude posuzován pouze tento prvek.

1.1.3.2. Smyk

$$V_{Ed,max} = 7,975 \text{ kN}$$

$$f_{v,d(D30)} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{3,0}{1,3} = 1,615 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{7,975 \cdot 10^3}{170 \cdot 60} = 1,173 \text{ MPa}$$

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$\mathbf{1,173 \leq 1,615 \text{ MPa}}$$

VYHOVÍ

1.1.3.3. Tlak kolmo k vláknům

$$R_{max} = 9,199 \text{ kN}$$

$$f_{c,90,d(D30)} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{8,0}{1,3} = 4,308 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_{max}}{A_{úložná}} = \frac{9,199 \cdot 10^3}{170 \cdot 50} = 1,082 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$$1,082 \leq 1,0 \cdot 4,308 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

1.2. Ruční výpočet

Tento výpočet provádím z důvodu kontroly správnosti 2D modelu prvku. Geometrie i statické schéma jsou stejné jako u 2D modelu. Ověření provádím pro kombinaci C01/2, ze které výpočetní program určuje maximální moment nad prostřední podporou.

1.2.1. Zatížení

Rozhodující kombinace: $\xi \cdot \gamma_{G,sup} \cdot G_k + \gamma_{Q,sup} \cdot Q_k$

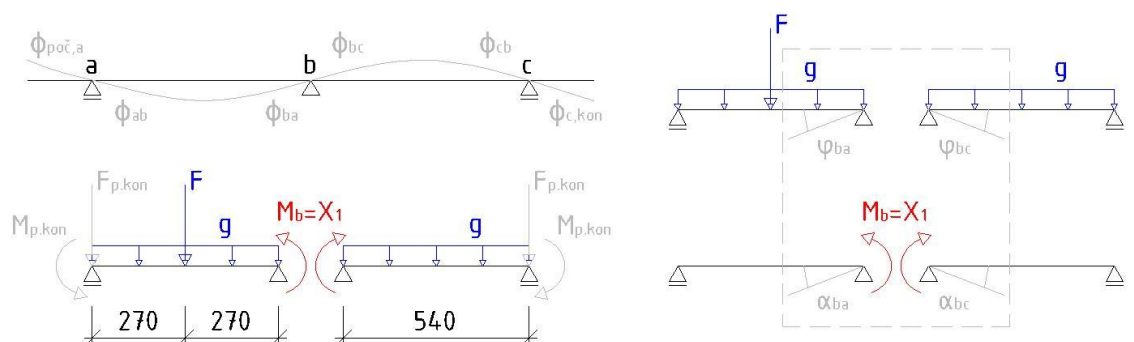
G_k – vlastní tíha: $g_k = \gamma_{D30} \cdot b \cdot h = 6,4 \cdot 0,17 \cdot 0,06 = 0,065 \text{ kN/m}$

$g_d = \xi \cdot \gamma_{G,sup} \cdot g_k = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 0,065 = 0,075 \text{ kN/m}$

Q_k – soustředěné zatížení: $F_k = Q_{fwk} = 10 \text{ kN}$

$F_d = \gamma_{Q,sup} \cdot Q_{fwk} = 1,35 \cdot 10 = 13,5 \text{ kN}$

1.2.2. Výpočet vnitřní síly



Obr. 4-6: Výpočet neznámé veličiny X_1

$$\varphi_{ba} = \frac{g_d \cdot L_{ab}^3}{24 \cdot EI} + \frac{F_d \cdot L_{ab}^2}{16 \cdot EI} + \frac{M \cdot L_{ab}}{6 \cdot EI} = \frac{0,075 \cdot 0,54^3}{24 \cdot EI} + \frac{13,5 \cdot 0,54^2}{16 \cdot EI} + \frac{9,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,54}{6 \cdot EI}$$

$$\varphi_{ba} = \frac{0,247}{EI}$$

$$\varphi_{bc} = \frac{g_d \cdot L_{bc}^3}{24 \cdot EI} + \frac{M \cdot L_{bc}}{6 \cdot EI} = \frac{0,075 \cdot 0,54^3}{24 \cdot EI} + \frac{9,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,54}{6 \cdot EI} = \frac{5,785 \cdot 10^{-4}}{EI}$$

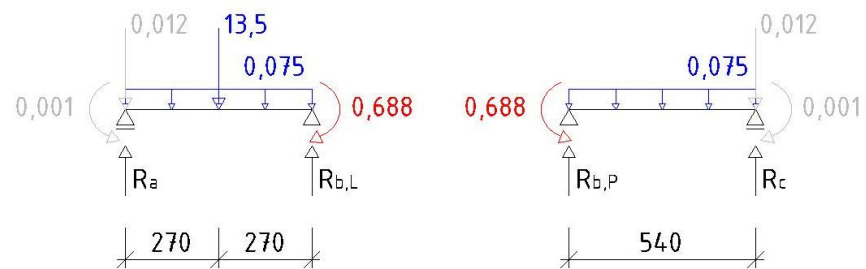
$$\alpha_{ba} = \alpha_{bc} = \alpha = \frac{1}{3} \cdot \frac{L_{ab(bc)}}{EI} = \frac{0,54}{3 \cdot EI} = \frac{0,18}{EI}$$

$$\phi_{ba} + \phi_{bc} = 0:$$

$$(\varphi_{ba} + X_1 \cdot \alpha_{ba}) + (\varphi_{bc} + X_1 \cdot \alpha_{bc}) = 0$$

$$X_1 = -\frac{\varphi_{ba} + \varphi_{bc}}{2 \cdot \alpha} = -\frac{0,247 + 5,785 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0,18} = -0,688 \text{ kN/m}$$

$$M_b = X_1 = -0,688 \text{ kN/m}$$



Obr. 4-7: Výpočet vnitřních sil

$$\sum M_{i,b} = 0:$$

$$R_a \cdot 0,54 - 0,012 \cdot 0,54 - 13,5 \cdot 0,27 - (0,075 \cdot 0,54) \cdot 0,27 - 9,6 \cdot 10^{-4} = 0$$

$$R_a = 6,784 \text{ kN}$$

$$\sum M_{i,a} = 0$$

$$R_b^L \cdot 0,54 - 0,688 - 13,5 \cdot 0,27 - (0,075 \cdot 0,54) \cdot 0,27 = 0$$

$$R_b^L = 8,044 \text{ kN}$$

$$\sum M_{i,c} = 0$$

$$R_b^P \cdot 0,54 - 0,688 - (0,075 \cdot 0,54) \cdot 0,27 = 0$$

$$R_b^P = 1,294 \text{ kN}$$

$$R_b = R_b^L + R_b^P = 8,044 + 1,294 = 9,338 \text{ kN}$$

1.3. Porovnání

Vybrané hodnoty veličin, které jsem zjistila pomocí výpočetního programu Scia Engineer 2012.0 a ručním výpočtem, jsem porovnala v tabulce níže. Výsledky se liší o méně než 8%, což splňuje hodnotu doporučenou vedoucím bakalářské práce.

Tab. 4-1: Porovnání výsledků jednotlivých typů výpočtů

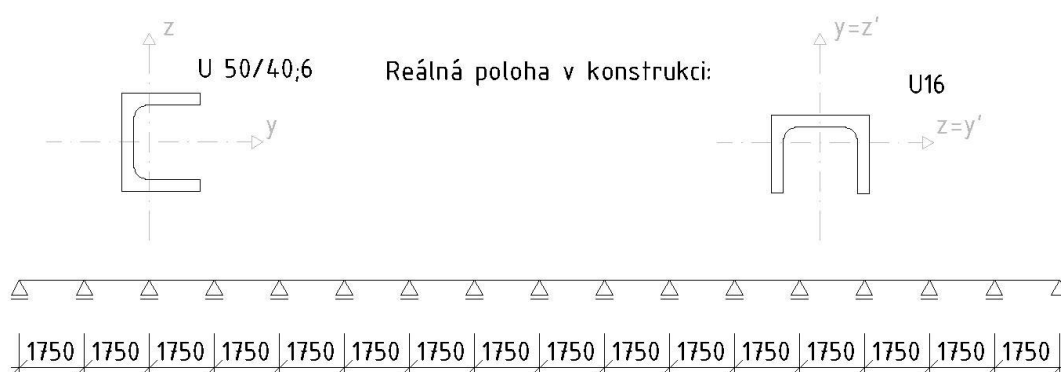
	2D výpočet	Ruční výpočet	Rozdíl
M_b [kN/m]	-0,653	-0,688	5,09%
R_a [kN]	6,295	6,784	7,21%
R_b [kN]	9,199	9,338	1,49%
		Průměr	4,59%

2. PODÉLNÝ NOSNÍK

Výpočet je proveden na prostředním, nejvíce namáhaném, podélném nosníku, který je zjednodušeně modelován jako spojitý nosník na tuhých podporách. Podrobný protokol o výpočtu vnitřních sil je uveden v části E této bakalářské práce.

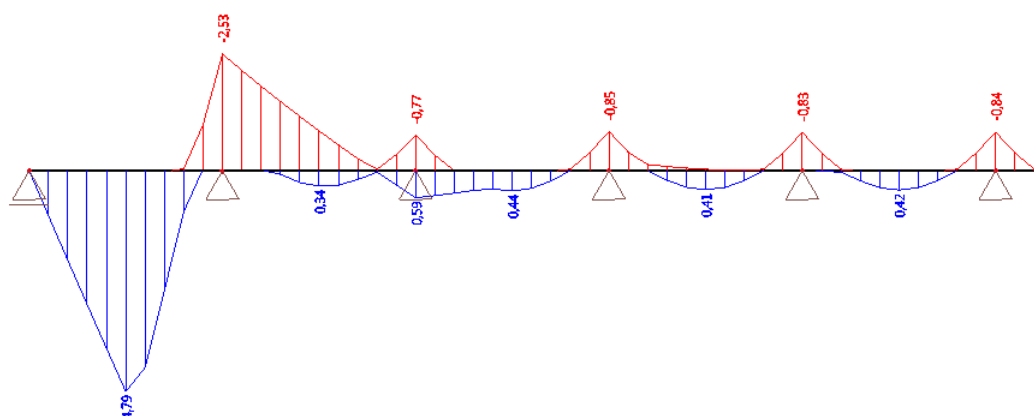
2.1. Výpočet na 2D modelu prvku

2.1.1. Geometrie a statické schéma

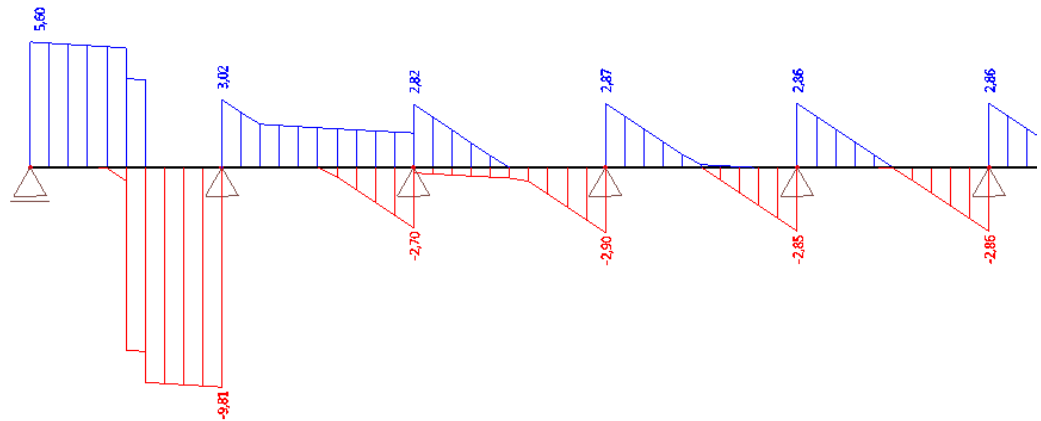


Obr. 4-8: Podélný nosník

2.1.2. Vnitřní síly na prvku



Obr. 4-9: Ohybové momenty na nejvíce namáhané části prvku



Obr. 4-10: Posouvající síly na nejvíce namáhané části prvku

2.1.3. Posouzení MSÚ

2.1.3.1. Ohyb

$$M_{Ed} = 4,790 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,6501 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1797,775 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 1,798 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{4,79}{1,798} = \mathbf{2,66 \not\leq 1,0}$$

NEVYHOVÍ

Prvek nevyhoví na ohyb, klopení tedy nebude posuzováno. Prvek nevyhoví. Velké lokální překročení únosnosti průřezu je způsobeno působením soustředěného zatížení v krajním poli spojitého nosníku. V ostatních částech nosníku nabývají ohybové momenty běžně hodnoty okolo 0,400 – 0,850 kNm, což je hodnota, na kterou prvek s dostatečnou rezervou vyhoví.

2.1.3.2. Smyk

$$V_{Ed} = 9,810 \text{ kN}$$

$$A_v = A - h_w \cdot t_w = 7,2374 \cdot 10^{-4} - 0,05 \cdot 0,006 = 4,237 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{4,237 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 57486,478 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd} = 57,486 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{9,81}{57,486} = \mathbf{0,17 \leq 1,0}$$

VYHOVÍ

2.1.3.3. Interakce ohybu a smyku

Interakci výše uvedených dvou typů namáhání lze zanedbat, pokud je splněna následující podmínka:

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$$

$$9,81 \leq 28,743 \text{ kN}$$

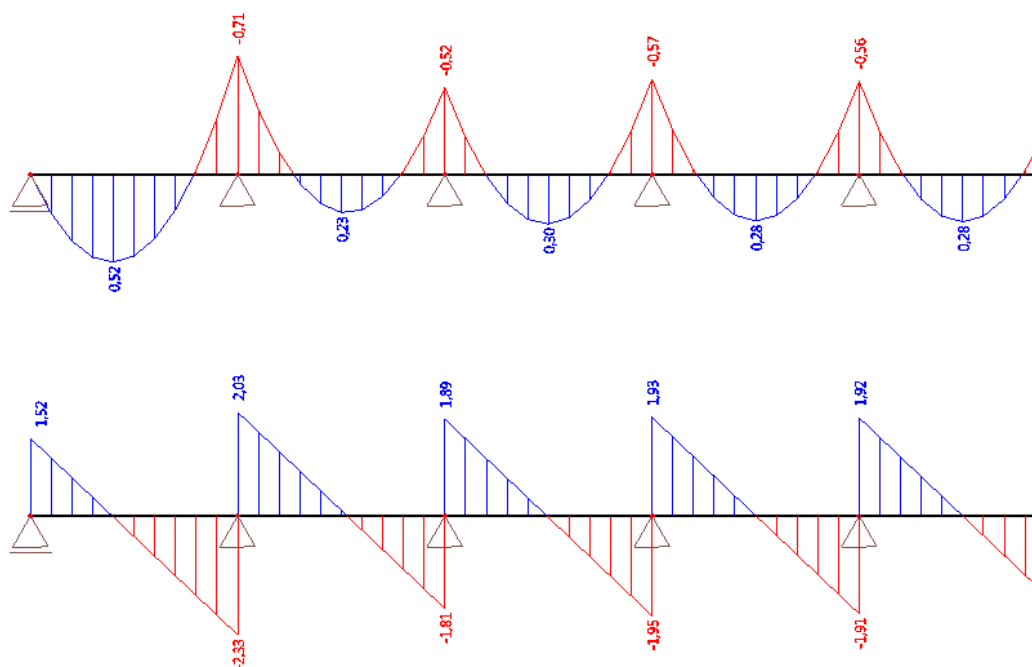
LZE ZANEDBAT

2.1.3.4. Interakce ohybu a osově síly

Vzhledem k tomu, že prvek lokálně nevyhoví na namáhání ohybem, není nutno interakci výše uvedených typů namáhání posuzovat. Prvek nevyhoví.

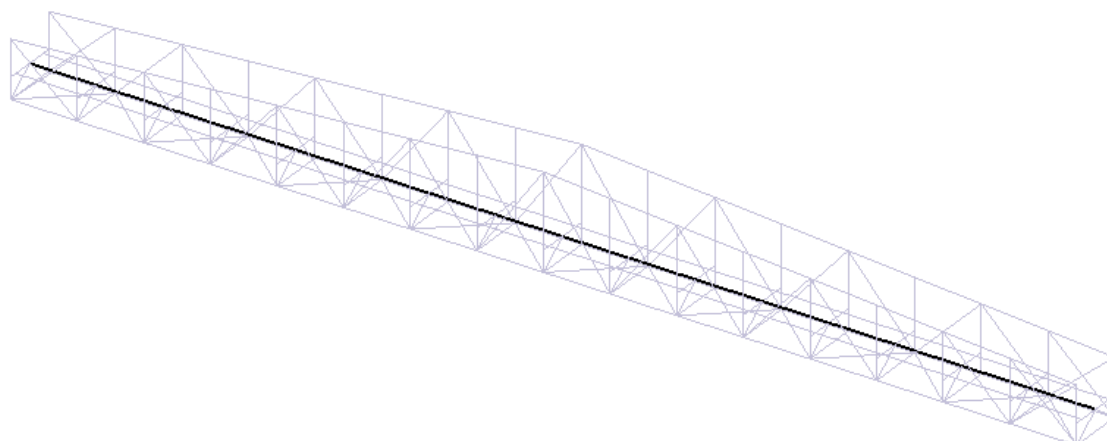
2.1.4. **Vnitřní síly od vybraného zatěžovacího stavu**

Vybraným zatěžovacím stavem je rovnoměrné zatížení davem lidí, při výpočtu na 2D modelu prvku se jedná o zatěžovací stav „LC3 – Dav lidí“. Vnitřní síly od tohoto zatěžovacího stavu porovnávám s výsledky ze 3D modelu konstrukce (viz. kapitola 2.3.), opět pro ověření správnosti jednotlivých modelů.



Obr. 4-11: Ohybové momenty a posouvající síly od „LC3 - Dav lidí“

2.2. Výpočet na 3D modelu prvku



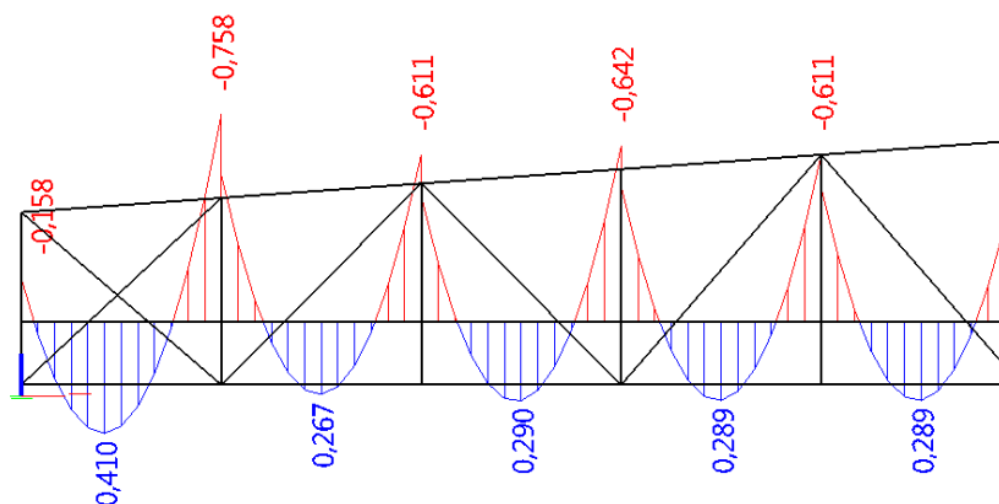
Obr. 4-12: Podélný nosník jako součást 3D modelu konstrukce

2.2.1. Geometrie

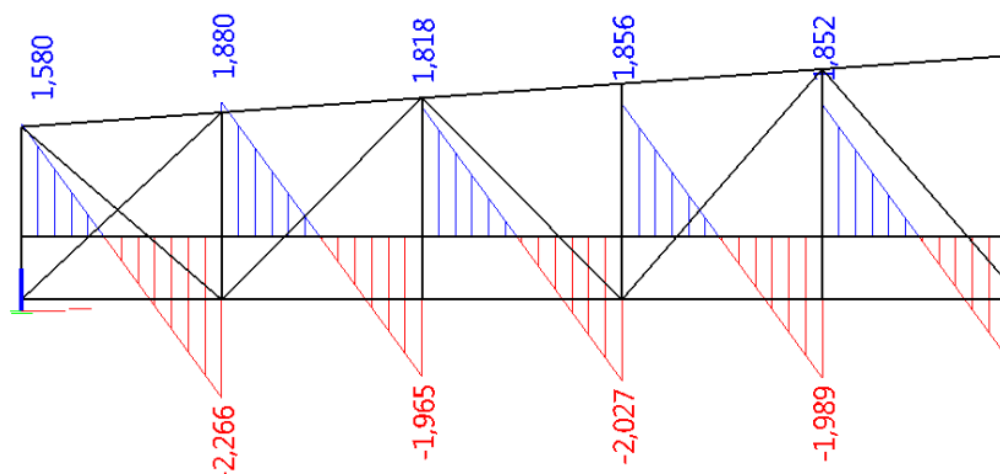
Geometrie podélného nosníku jako součásti 3D modelu konstrukce je stejná jako u 2D prvku. Jedinou odlišností je podepření konců nosníku, které jsou na 3D modelu připojeny tuze. V těchto místech tedy lze očekávat větší rozdíly ve výsledcích.

2.2.2. Vnitřní síly od vybraného zatěžovacího stavu

Při výpočtu na 3D modelu konstrukce se jedná o zatěžovací stav „LC8 – Dav lidí.“



Obr. 4-13: Ohybové momenty od „LC8 - Dav lidí“



Obr. 4-14: Posouvající síly od „LC8 - Dav lidí“

2.3. Porovnání

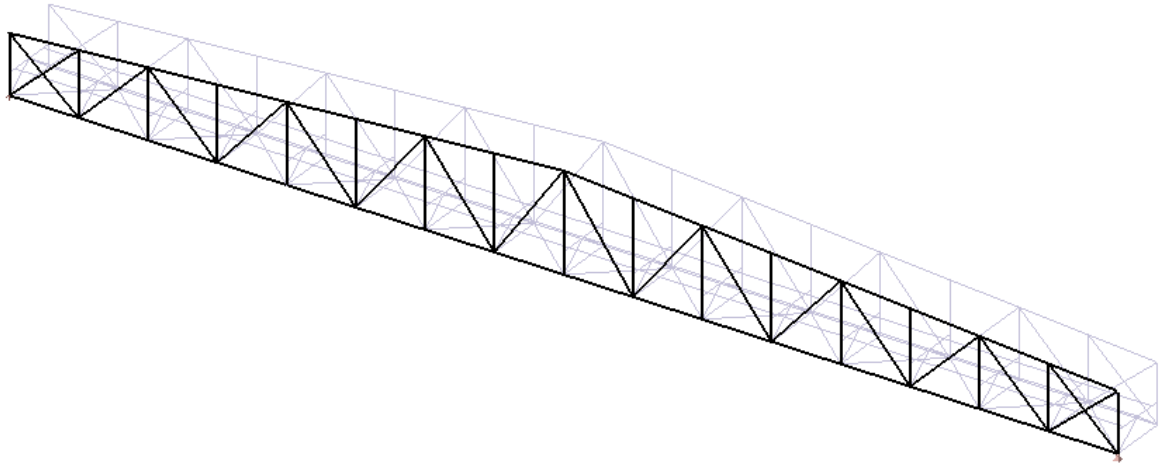
Podélný nosník jsem vybrala pro ověření správnosti geometrie 3D modelu konstrukce. Vybrané hodnoty veličin, které jsem zjistila pomocí výpočetního programu Scia Engineer 2012.0, jsem porovnávala v tabulce níže. Průměrně se výsledky se liší o méně než 8% (při vyloučení výsledku ohybového momentu v místě krajní podpory), což splňuje hodnotu doporučenou vedoucím bakalářské práce. Větší rozdíly hodnot jsem zaznamenala pouze u krajních polí spojitého nosníku, což je způsobeno ne zcela přesným nahrazením krajních podpor na 2D modelu oproti 3D modelu. Tyto rozdíly tedy považuji za přijatelné.

Tab. 4-2: Porovnání výsledků jednotlivých typů výpočtů

		2D výpočet	3D výpočet	Rozdíl
$M_{y, \text{ pole}}$ [kN/m]	krajní	0,520	0,410	21,15%
	2. pole	0,230	0,267	13,86%
	3. pole	0,300	0,290	3,45%
	středové ^L	0,280	0,288	2,78%
	středové ^P	0,280	0,286	2,10%
$M_{y, \text{ podpora}}$ [kN/m]	krajní	0,000	-0,158	100,00%
	2. podpora	-0,710	-0,758	6,33%
	středová ^L	-0,560	-0,555	0,90%
	středová ^P		-0,560	0,00%
$V_{z, \text{ podpora}}$ [kN]	krajní	1,520	1,580	3,80%
	2. podpora ^L	-2,330	-2,266	2,82%
	2. podpora ^P	2,030	1,880	7,98%
	středová ^L	-1,920	-1,925	0,26%
	středová ^P	1,920	1,929	0,47%
Průměr				5,07%

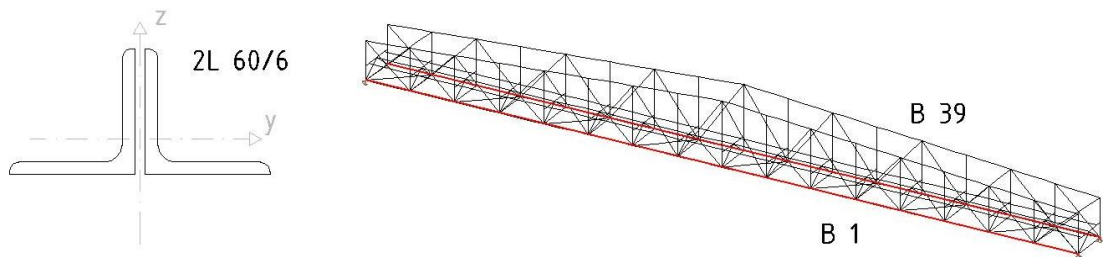
3. HLAVNÍ NOSNÍK

Výpočet vnitřních sil je proveden na 3D modelu konstrukce. Maximální hodnoty vnitřních sil jsou uvažovány jako maxima z obou hlavních nosníků. Podrobný protokol o výpočtu je součástí příloh tohoto statického výpočtu.



Obr. 4-15: Schéma hlavního nosníku

3.1. Dolní pás



Obr. 4-16: Průřez dolního pásu a poloha v konstrukci

3.1.1. Tah

$$N_{Ed} = 322,433 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 324770 \text{ N}$$

$$N_{t,Rd} = 324,770 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{322,433}{324,77} = 0,99 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

3.1.2. Ohyb

$$M_{y,Ed} = 0,023 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,946 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 4573,100 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 4,573 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,023}{4,573} \cong 0,01 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$M_{z,Ed} = 0,196 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{2,6768 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 6290,48 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 6,290 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,196}{6,290} = 0,03 \leq 1,0$$

VYHOVÍ**3.1.3. Interakce ohybu a osové síly**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{322,433}{324,77} + \frac{0,023}{4,573} + \frac{0,196}{6,29} \leq 1,0$$

$$1,03 \not\leq 1,0$$

NEVYHOVÍ**3.1.4. Smyk**

$$V_{Ed} = 0,799 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{A}{2} = \frac{1,382 \cdot 10^{-3}}{2} = 6,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{6,91 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 93753,023 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd} = 93,753 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,799}{93,753} = 0,01 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

3.1.5. Interakce ohybu a smyku

Interakci výše uvedených dvou typů namáhání lze zanedbat, pokud je splněna následující podmínka:

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$$

$$0,799 \leq 46,877 \text{ kN}$$

LZE ZANEDBAT

3.1.6. Tlak

Vzhledem k relativně malé hmotnosti nosné konstrukce vyvolává zatížení větrem kolmo na směr rozpětí mostu značné tlakové namáhání i na dolním pásu příhradové konstrukce, které je nutno při posouzení prvku zohlednit.

$$N_{Ed} = 329,428 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 324770 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 324,770 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{329,428}{324,77} = 1,01 \not\leq 1,0$$

NEVYHOVÍ

3.1.7. Vzpěr

$$L = L_{cr} = 1,75 \text{ m}$$

$$N_E = N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 4,5564 \cdot 10^{-7}}{1,75^2} = 308364,792 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{308364,792}} = 1,026$$

$$\bar{\lambda} = 1,03 \not\leq 0,2$$

NUTNO POSODIT NA VZPĚR

Jedná se o prut s jednoose symetrickým průřezem, který vybočí buď rovinným vzpěrem, což vyjadřuje kritická štíhlost λ_y , nebo prostorovým vzpěrem, který je kombinací rovinného vzpěru a vzpěru kroucením, což vyjadřuje štíhlost $\lambda_{z\omega}$. Křivka vzpěrné pevnosti „b“.

3.1.7.1. Rovinný vzpěr

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,026 - 0,2) + 1,026^2] = 1,167$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,167 + \sqrt{1,167^2 - 1,026^2}} = 0,580$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,58 \cdot 1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,1} = 171242,364 \text{ N}$$

$$N_{b,Rd} = 171,242 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{329,428}{171,242} = \mathbf{1,92 \not\leq 1,0}$$

NEVYHOVÍ3.1.7.2. Prostorový vzpěr

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{9,7413 \cdot 10^{-7}}{1,382 \cdot 10^{-3}}} = 0,02655 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = \frac{1,75}{0,02655} = 65,913$$

$$I_p = I_y + I_z + A \cdot a^2 = 4,5564 \cdot 10^{-7} + 9,7413 \cdot 10^{-7} = 1,4298 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_p = \sqrt{\frac{I_p}{A}} = \sqrt{\frac{1,4298 \cdot 10^{-6}}{1,382 \cdot 10^{-3}}} = 0,03217 \text{ m}$$

$$\lambda_\omega = \sqrt{\frac{I_p}{\frac{I_\omega}{L_\omega^2} + \frac{I_t}{25}}} = \sqrt{\frac{1,4298 \cdot 10^{-6}}{\frac{0}{L_\omega^2} + \frac{1,6416 \cdot 10^{-8}}{25}}} = 46,663$$

$$\kappa_z = \sqrt{\frac{1 + (a_z/i_p)}{2}} = \sqrt{\frac{1 + (0/0,03217)}{2}} = 0,707$$

$$\lambda_{z\omega} = \kappa_z \cdot \sqrt{\lambda_z^2 + \lambda_\omega^2} = 0,707 \cdot \sqrt{65,913^2 + 46,663^2} = 57,096$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_T = \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda_{z\omega}}{\lambda_1} = \frac{57,096}{93,9} = 0,608$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,608 - 0,2) + 0,608^2] = 0,754$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,754 + \sqrt{0,754^2 - 0,608^2}} = 0,833$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,833 \cdot 1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,1} = 245939,464 \text{ N}$$

$$N_{b,Rd} = 245,939 \text{ kN}$$

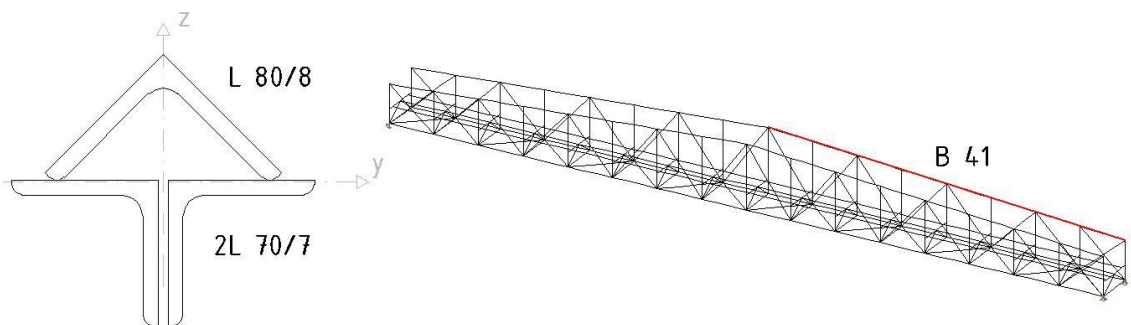
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{329,428}{245,939} = 1,34 \not\leq 1,0$$

NEVYHOVÍ

3.1.8. Interakce ohybu a osové síly

Vzhledem k tomu, že prvek nevyhoví na namáhání osovou silou a na vzpěr, není nutno klopení ani interakci výše uvedených typů namáhání posuzovat. Prvek nevyhoví.

3.2. Horní pás



Obr. 4-17: Průřez horního pásu a poloha v konstrukci

3.2.1. Tlak

$$N_{Ed} = 290,196 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{3,1107 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 731014,5 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 731,015 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{290,196}{731,015} = 0,41 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

3.2.2. Vzpěr

$$L = L_{cr} = 1,75 \text{ m}$$

$$N_E = N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,8445 \cdot 10^{-6}}{1,75^2} = 1925080,438 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,1107 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1925080,438}} = 0,616$$

$$\bar{\lambda} = 0,62 \not\leq 0,2$$

NUTNO POSOUDIT NA VZPĚŘ

Jedná se o prut s jednoose symetrickým průřezem, který vybočí buď rovinným vzpěrem, což vyjadřuje kritická štíhlost λ_y , nebo prostorovým vzpěrem, který je kombinací rovinného vzpěru a vzpěru kroucením, což vyjadřuje štíhlost $\lambda_{z\omega}$. Křivka vzpěrné pevnosti „c“.

3.2.2.1. Rovinný vzpěr

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,8445 \cdot 10^{-6}}{3,1107 \cdot 10^{-3}}} = 0,03024 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{1,75}{0,03024} = 57,870$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{57,87}{93,9} = 0,616$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 0,616$$

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda} = 0,616$$

SOUHLASÍ

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,616 - 0,2) + 0,616^2] = 0,792$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,792 + \sqrt{0,792^2 - 0,616^2}} = 0,775$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,775 \cdot 3,1107 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,1} = 515032,943 \text{ N}$$

$$N_{b,Rd} = 515,033 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{290,196}{515,033} = 0,56 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

3.2.2.2. Prostorový vzpěr

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2,9089 \cdot 10^{-6}}{3,1107 \cdot 10^{-3}}} = 0,03058 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = \frac{1,75}{0,03058} = 57,227$$

$$I_p = I_y + I_z + A \cdot a^2 = 2,8445 \cdot 10^{-6} + 2,9089 \cdot 10^{-6} + 0 = 5,7534 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_p = \sqrt{\frac{I_p}{A}} = \sqrt{\frac{5,7534 \cdot 10^{-6}}{3,1107 \cdot 10^{-3}}} = 0,04301 \text{ m}$$

$$\lambda_\omega = \frac{\sqrt{\frac{I_p}{\frac{I_\omega}{L_\omega^2} + \frac{I_t}{25}}}}{\sqrt{\frac{5,7534 \cdot 10^{-6}}{\frac{0}{L_\omega^2} + \frac{5,7538 \cdot 10^{-7}}{25}}}} = 15,811$$

$$\kappa_z = \sqrt{\frac{1 + (a_z/i_p)}{2}} = \sqrt{\frac{1 + (0/0,04301)}{2}} = 0,707$$

$$\lambda_{z\omega} = \kappa_z \cdot \sqrt{\lambda_z^2 + \lambda_\omega^2} = 0,707 \cdot \sqrt{57,227^2 + 15,811^2} = 41,975$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_T = \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda_{z\omega}}{\lambda_1} = \frac{41,975}{93,9} = 0,447$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,447 - 0,2) + 0,447^2] = 0,660$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,447^2}} = 0,873$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,873 \cdot 3,1107 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,1} = 580159,690 \text{ N}$$

$$N_{b,Rd} = 580,160 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{290,196}{580,160} = 0,50 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

3.2.3. Ohyb

$$M_{y,Ed} = 0,016 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{7,0893 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 16659,855 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 16,660 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,016}{16,66} \cong 0,00 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$M_{z,Ed} = 0,486 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{7,3872 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 17359,920 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 17,360 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,486}{17,36} = 0,03 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

Vzhledem k dostatečné rezervě ohybové únosnosti průřezu není nutno uvažovat klopení průřezu.

3.2.4. Interakce ohybu a osové síly

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{290,196}{515,033} + \frac{0,016}{16,66} + \frac{0,486}{17,36} \leq 1,0$$

$$0,59 \leq 1,0$$

VYHOVÍ**3.2.5. Smyk**

$$V_{Ed} = 1,524 \text{ kN}$$

$$A_v = 2 \cdot b_f \cdot t_f = 2 \cdot 0,07 \cdot 0,007 = 9,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{9,8 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 132963,767 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{1,524}{132,964} = 0,01 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

3.2.6. Interakce ohybu a smyku

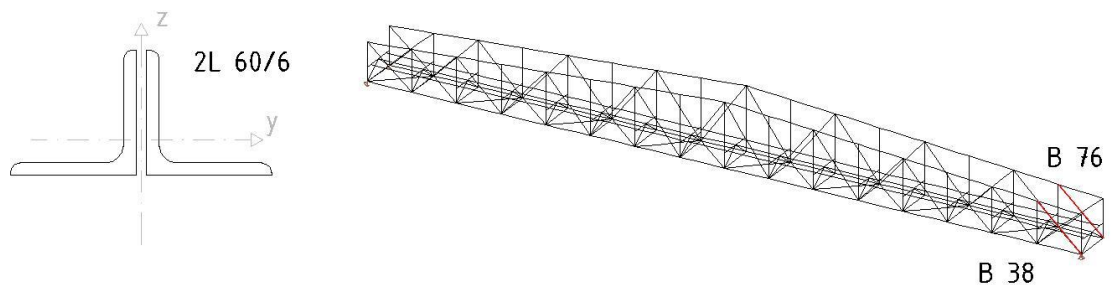
Interakci výše uvedených dvou typů namáhání lze zanedbat, pokud je splněna následující podmínka:

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$$

$$1,524 \leq 66,482 \text{ kN}$$

LZE ZANEDBAT

3.3. Diagonály



Obr. 4-18: Průřez diagonál a poloha v konstrukci

3.3.1. Tažená diagonála (B38)

3.3.1.1. Tah

$$N_{Ed} = 82,587 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 324770 \text{ N}$$

$$N_{t,Rd} = 324,770 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{82,587}{324,77} = 0,25 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

Vzhledem k dostatečné rezervě únosnosti průřezu a velikosti odpovídajících vnitřních sil (viz. Přílohy, kapitola 4.5.2.) nebudou ostatní typy namáhání a jejich interakce posuzovány. Prvek vyhoví.

3.3.2. Tlačená diagonála (B76)**3.3.2.1. Tlak**

$$N_{Ed} = 133,969 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = N_{t,Rd} = 324,770 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{133,969}{324,77} = \mathbf{0,41 \leq 1,0}$$

VYHOVÍ**3.3.2.2. Vzpěr**

$$L = L_{cr} = 2,388 - 2 \cdot 0,15 = 2,088 \text{ m}$$

$$N_E = N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 4,5564 \cdot 10^{-7}}{2,088^2} = 216610,694 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{216610,694}} = 1,224$$

$$\bar{\lambda} = \mathbf{1,22 \not\leq 0,2}$$

NUTNO POSOUDIT NA VZPĚR

Jedná se o prut s jednoose symetrickým průřezem, který vybočí buď rovinným vzpěrem, což vyjadřuje kritická štíhlost λ_y , nebo prostorovým vzpěrem, který je kombinací rovinného vzpěru a vzpěru kroucením, což vyjadřuje štíhlost $\lambda_{z\omega}$. Křivka vzpěrné pevnosti „b“.

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,5564 \cdot 10^{-7}}{1,382 \cdot 10^{-3}}} = 0,01816 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{2,088}{0,01816} = 114,978$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{114,978}{93,9} = 1,224$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 1,224$$

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda} = \mathbf{1,224}$$

SOUHLASÍ

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,224 - 0,2) + 1,224^2] = 1,423$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,423 + \sqrt{1,423^2 - 1,224^2}} = 0,465$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,465 \cdot 1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,1} = 137289,136 \text{ N}$$

$$N_{b,Rd} = 137,289 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{133,969}{137,289} = \mathbf{0,98 \leq 1,0}$$

VYHOVÍ NA ROVINNÝ VZPĚR

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{9,7413 \cdot 10^{-7}}{1,382 \cdot 10^{-3}}} = 0,02655 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = \frac{2,388}{0,02655} = 89,944$$

$$I_p = I_y + I_z + A \cdot a^2 = 4,5564 \cdot 10^{-7} + 9,7413 \cdot 10^{-7} + 0 = 1,4298 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_p = \sqrt{\frac{I_p}{A}} = \sqrt{\frac{1,4298 \cdot 10^{-6}}{1,382 \cdot 10^{-3}}} = 0,03217 \text{ m}$$

$$\lambda_\omega = \sqrt{\frac{I_p}{\frac{I_\omega}{L_\omega^2} + \frac{I_t}{25}}} = \sqrt{\frac{1,4298 \cdot 10^{-6}}{\frac{0}{L_\omega^2} + \frac{1,6416 \cdot 10^{-8}}{25}}} = 46,663$$

$$\kappa_z = \sqrt{\frac{1 + (a_z/i_p)}{2}} = \sqrt{\frac{1 + (0/0,03217)}{2}} = 0,707$$

$$\lambda_{z\omega} = \kappa_z \cdot \sqrt{\lambda_z^2 + \lambda_\omega^2} = 0,707 \cdot \sqrt{89,944^2 + 46,663^2} = 71,639$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_T = \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda_{z\omega}}{\lambda_1} = \frac{71,639}{93,9} = 0,763$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,763 - 0,2) + 0,763^2] = 0,887$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,887 + \sqrt{0,887^2 - 0,763^2}} = 0,747$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,747 \cdot 1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,1} = 220548,355 \text{ N}$$

$$N_{b,Rd} = 220,548 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{133,969}{220,548} = 0,61 \leq 1,0$$

VYHOVÍ NA PROSTOROVÝ VZPĚR

3.3.2.3. Ohyb

$$M_{y,Ed} = 0,084 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,946 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 4573,100 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 4,573 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,084}{4,573} = 0,02 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$M_{z,Ed} = 0,658 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{2,6768 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 6290,480 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 6,290 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,658}{6,29} = 0,10 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

Vzhledem k dostatečné rezervě ohybové únosnosti průřezu není nutno uvažovat klopení průřezu.

3.3.2.4. Interakce ohybu a osově síly

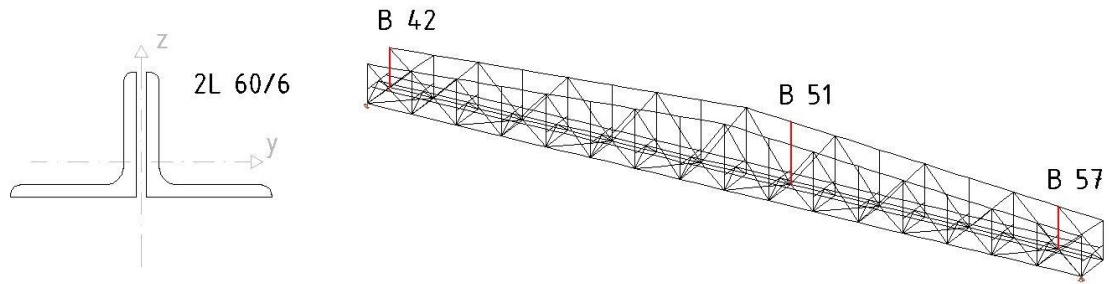
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{133,969}{137,289} + \frac{0,084}{4,573} + \frac{0,658}{6,29} \leq 1,0$$

$$1,10 \not\leq 1,0$$

NEVYHOVÍ

3.4. Svislice



Obr. 4-19: Průřez svislic a poloha v konstrukci

3.4.1. Tažená svislice (B57)

3.4.1.1. Tah

$$N_{Ed} = 81,933 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 324770 \text{ N}$$

$$N_{t,Rd} = 324,770 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{81,933}{324,77} = 0,25 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

3.4.1.2. Smyk

$$V_{Ed} = 6,359 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{A}{2} = \frac{1,382 \cdot 10^{-3}}{2} = 6,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{6,91 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 93753,023 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd} = 93,753 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{6,359}{93,753} = 0,07 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

Vzhledem k dostatečné rezervě únosnosti průřezu a velikosti odpovídajících vnitřních sil (viz. Přílohy, kapitola 4.6.3.) nebudou ostatní typy namáhání a jejich interakce posuzovány. Prvek vyhoví.

3.4.2. Tlačená svislice (B42)**3.4.2.1. Tlak**

$$N_{Ed} = 51,749 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = N_{t,Rd} = 324,770 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{51,749}{324,77} = \mathbf{0,16 \leq 1,0}$$

VYHOVÍ**3.4.2.2. Vzpěr**

$$L = L_{cr} = 1,625 - 2 \cdot 0,1 = 1,425 \text{ m}$$

$$N_E = N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 4,5564 \cdot 10^{-7}}{1,425^2} = 465062,321 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{465062,321}} = 0,836$$

$$\bar{\lambda} = \mathbf{0,836 \not\leq 0,2}$$

NUTNO POSOUDIT NA VZPĚR

Jedná se o prut s jednoose symetrickým průřezem, který vybočí buď rovinným vzpěrem, což vyjadřuje kritická štíhlost λ_y , nebo prostorovým vzpěrem, který je kombinací rovinného vzpěru a vzpěru kroucením, což vyjadřuje štíhlost $\lambda_{z\omega}$. Křivka vzpěrné pevnosti „b“.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 0,863$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,863 - 0,2) + 0,863^2] = 0,985$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,985 + \sqrt{0,985^2 - 0,863^2}} = 0,685$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,685 \cdot 1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,1} = 202243,136 \text{ N}$$

$$N_{b,Rd} = 202,243 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{51,749}{202,243} = \mathbf{0,26 \leq 1,0}$$

VYHOVÍ NA ROVINNÝ VZPĚR

$$i_z = 0,02655 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = \frac{1,625}{0,02655} = 61,205$$

$$I_p = 1,4298 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_p = 0,03217 \text{ m}$$

$$\lambda_\omega = 46,663$$

$$\kappa_z = 0,707$$

$$\lambda_{z\omega} = \kappa_z \cdot \sqrt{\lambda_z^2 + \lambda_\omega^2} = 0,707 \cdot \sqrt{61,205^2 + 46,663^2} = 54,414$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_T = \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda_{z\omega}}{\lambda_1} = \frac{54,414}{93,9} = 0,579$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,579 - 0,2) + 0,579^2] = 0,732$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,732 + \sqrt{0,732^2 - 0,579^2}} = 0,848$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,848 \cdot 1,382 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,1} = 250368,146 \text{ N}$$

$$N_{b,Rd} = 250,368 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{51,749}{250,368} = \mathbf{0,21 \leq 1,0}$$

VYHOVÍ NA PROSTOROVÝ VZPĚR

Vzhledem k dostatečné rezervě únosnosti průřezu a velikosti odpovídajících vnitřních sil (viz. Přílohy, kapitola 4.6.2.) nebudou ostatní typy namáhání a jejich interakce posuzovány. Prvek vyhoví.

3.4.3. Podružná svislice zkracující vzpěrnou délku

3.4.3.1. Tlak

$$N_{Ed(B41)} = 290,196 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = \frac{N_{Ed(B41)}}{100} = \frac{290,196}{100} = 2,902 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = N_{t,Rd} = 324,770 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{2,902}{324,77} \cong 0,01 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

Vzhledem k dostatečné rezervě únosnosti průřezu není nutno ostatní typy namáhání a jejich interakce posuzovat. Prvek vyhoví.

3.4.4. Ohýbaná svislice (B51)

3.4.4.1. Ohyb

$$M_{y,Ed} = 0,328 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,946 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 4573,1 \text{ Nm}$$

$$M_{z,Ed} = 4,573 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,328}{4,573} = 0,07 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$M_{z,Ed} = 3,481 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{2,6768 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 6290,480 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 6,290 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{3,481}{6,29} = 0,55 \leq 1,0$$

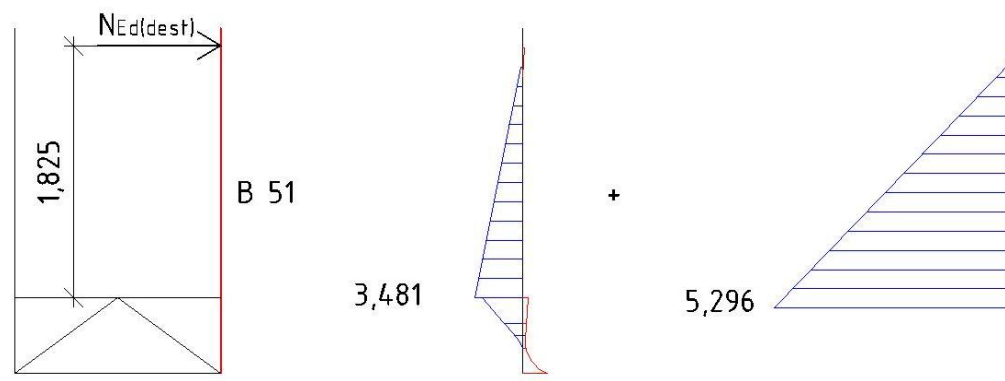
VYHOVÍ

3.4.4.2. Posouzení na destabilizující sílu

Velikost síly stabilizující, resp. destabilizující, horní pás by měla být rovna přibližně 1/100 osově síly v daném stabilizovaném pásu:

$$N_{Ed(stab)} = N_{Ed(dest)} \cong \frac{N_{Ed(B41)}}{100} = \frac{290,196}{100} 2,902 \text{ kN}$$

$$M_{Ed(dest)} = N_{Ed(dest)} \cdot r = 2,902 \cdot 1,825 = 5,296 \text{ kNm}$$



Obr. 4-20: Grafický součet

$$M_{Ed} = M_{z,Ed} + M_{Ed(dest)} = 3,418 + 5,296 = 8,714 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{8,714}{6,29} = \mathbf{1,39 \not\leq 1,0}$$

NEVYHOVÍ

3.5. POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ VNITŘNÍCH SIL

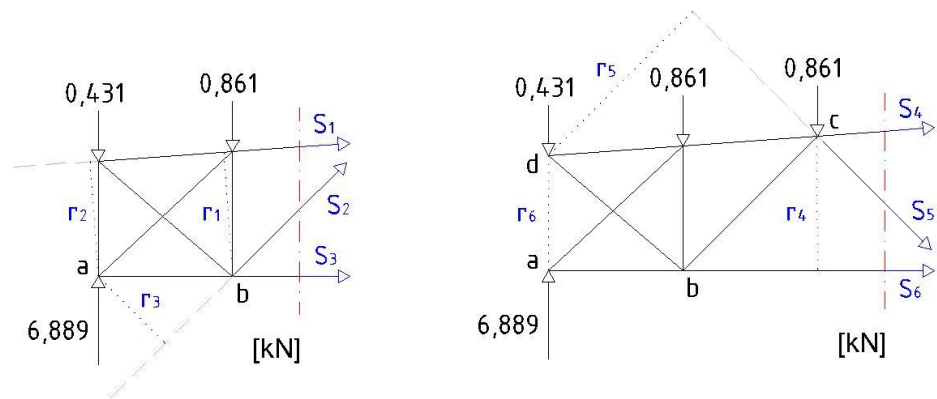
Pro porovnání a ověření správnosti geometrie 3D modelu konstrukce jsem vybrala výpočet vnitřních sil na dvou vybraných diagonálách hlavního nosníku pro zatěžovací stav „LC10 – Vitr – Tlak Z - dolů“.

3.5.1. Ruční výpočet

Výpočet jsem provedla průsečnou metodou, kterou je možno zjistit tři neznámé osově síly.

$$\sum F_i = 2 \cdot 0,431 + 15 \cdot 0,861 = 13,777 \text{ kN}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{\sum F_i}{2} = \frac{13,777}{2} = 6,889 \text{ kN}$$



Obr. 4-21: Průsečná metoda

3.5.1.1. Tlačená diagonála (B23)

Délky ramen odečteny z AutoCADu: $r_1 = 1,621 \text{ m}$

$$r_2 = 1,496 \text{ m}$$

$$r_3 = 1,236 \text{ m}$$

$$\sum M_{ib} = 0:$$

$$6,889 \cdot 1,75 - 0,431 \cdot 1,75 + S_1 \cdot r_1 = 0$$

$$S_1 = \frac{-11,302}{1,621} = -6,972 \text{ kN}$$

$$\sum M_{ia} = 0:$$

$$0,861 \cdot 1,75 + (-6,972) \cdot r_2 - S_2 \cdot r_3 = 0$$

$$S_2 = \frac{-8,923}{1,236} = -7,220 \text{ kN} = N_{B23}$$

3.5.1.2. Tažená diagonála (B24)

Délky ramen odečteny z AutoCADu: $r_4 = 1,746 \text{ m}$

$r_5 = 2,652 \text{ m}$

$r_6 = 1,500 \text{ m}$

$\sum M_{ic} = 0:$

$$6,889 \cdot 3,5 - 0,431 \cdot 3,5 - 0,861 \cdot 1,75 - S_6 \cdot r_4 = 0$$

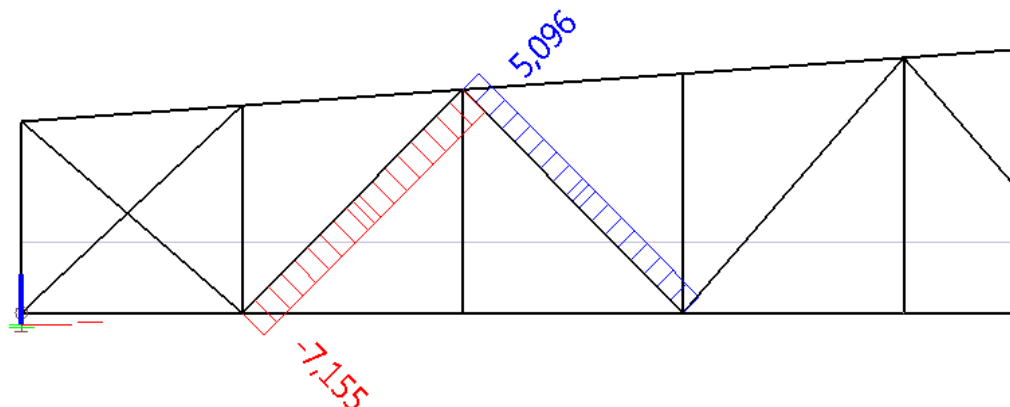
$$S_6 = \frac{21,096}{1,746} = 12,083 \text{ kN}$$

$\sum M_{id} = 0:$

$$0,861 \cdot 1,75 + 0,861 \cdot 3,5 - 12,083 \cdot r_6 - S_5 \cdot r_5 = 0$$

$$S_6 = \frac{13,604}{2,652} = 5,130 \text{ kN} = N_{B24}$$

3.5.2. Výpočet na 3D modelu konstrukce



Obr. 4-22: Vnitřní síly určené výpočetním programem

3.5.3. Porovnání

Vnitřní síly jsem porovnávala v tabulce níže. Odlišnost výsledků je méně než 1%, což splňuje hodnotu doporučenou vedoucím bakalářské práce.

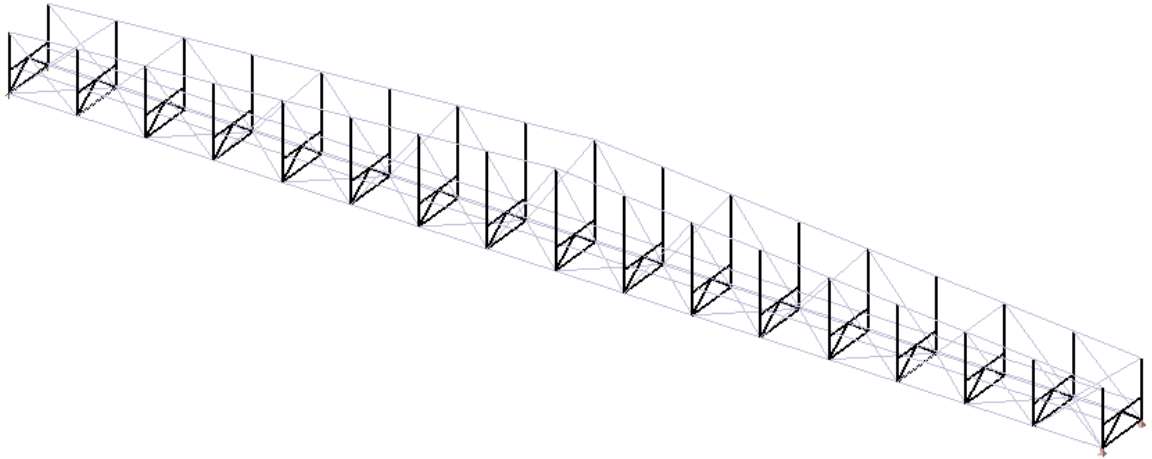
Tab. 4-3: Porovnání výsledků jednotlivých typů výpočtů

	3D výpočet	Ruční výpočet	Rozdíl
$N_{B23} \text{ [kN]}$	-7,220	-7,155	0,91%
$N_{B24} \text{ [kN]}$	5,130	5,096	0,67%

Průměr 0,79%

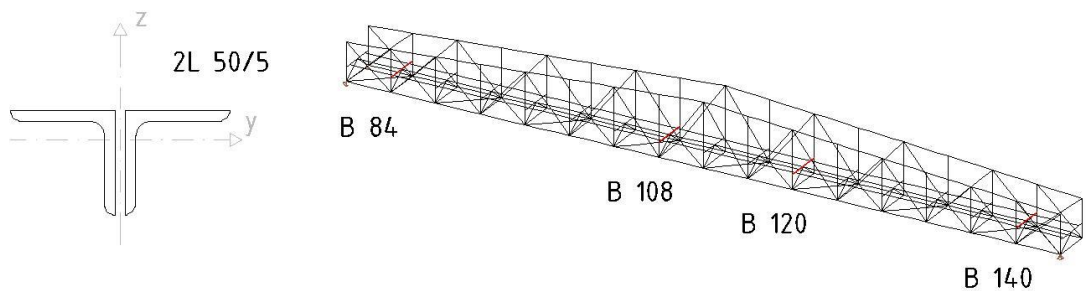
4. ZTUŽUJÍCÍ POLORÁM

Posouzení ztužujícího polorámu je rozděleno na samostatné posouzení příčného nosníku, výztuh a tuhosti. Posouzení uvažují na maximální možné hodnoty namáhání pro příslušný typ prutu, tedy na stranu bezpečnou. Nejvíce namáhané svislice polorámů jsou posouzeny v rámci výpočtu hlavního nosníku.



Obr. 4-23: Schéma ztužujících polorámů

4.1. Příčné nosníky



Obr. 4-24: Průřez příčného nosníku a poloha v konstrukci

4.1.1. Osově síly (B108)

$$N_{Ed} = 11,326 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{9,6071 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 225764,5 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 225,756 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{11,326}{225,765} = 0,05 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

Vzhledem k dostatečné rezervě únosnosti průřezu není nutné posuzovat průřez na vzpěr. Prvek vyhoví.

4.1.2. Smyk (B140)

$$V_{Ed} = 9,386 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{A}{2} = \frac{9,6071 \cdot 10^{-4}}{2} = 4,8036 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{4,8036 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 65173,954 \text{ N}$$

$$V_{c,Rd} = 65,174 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{9,386}{65,174} = 0,14 \leq 1,0$$

VYHOVÍ**4.1.3. Ohyb (B84, B120)**

$$M_{y,Ed} = 0,779 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,1226 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 2638,110 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 2,638 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{0,779}{2,638} = 0,30 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$M_{z,Ed} = 2,744 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,5882 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 3732,270 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 3,732 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{2,744}{3,732} = 0,74 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

4.1.4. Komentář

Prut B84 se jeví jako nejproblematictější. Vzhledem k významnému namáhání ohybem bude dále posouzen na interakci namáhání ohybem a osovou silou. Smykové namáhání je menší než u prutu B140, není jej tedy nutno posuzovat, prvek vyhoví.

4.1.5. Posouzení prutu B84

4.1.5.1. Tah

$$N_{Ed} = 8,317 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = 225,765 \text{ kN}$$

4.1.5.2. Ohyb

$$M_{y,Ed} = 0,121 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = 2,638 \text{ kNm}$$

4.1.5.3. Interakce ohybu a osově síly

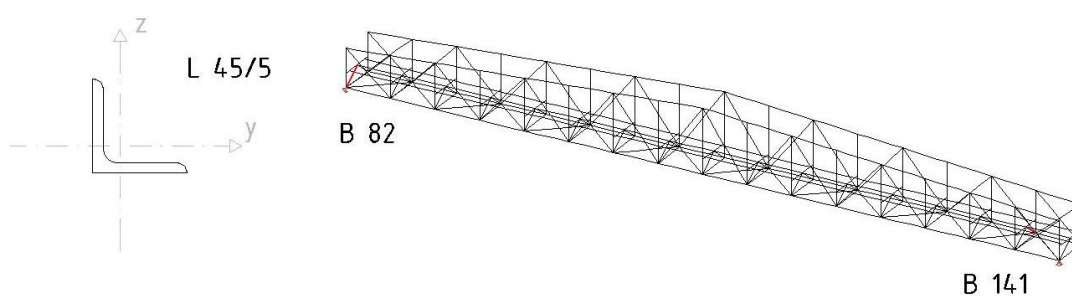
$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{8,317}{225,765} + \frac{0,121}{2,638} + \frac{2,744}{3,732} \leq 1,0$$

$$0,82 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

4.2. Výztuhy



Obr. 4-25: Průřez příčných výztuh a poloha v konstrukci

4.2.1. Osově síly (B141)

$$N_{Ed} = 16,474 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{4,3 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 101050 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 101,050 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{16,474}{101,050} = 0,16 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

4.2.2. Smyk (B82)

$$V_{Ed} = 0,884 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{A}{2} = \frac{4,3 \cdot 10^{-4}}{2} = 2,15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{MO}} = \frac{2,15 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 29170,622 \text{ N}$$

$$V_{c,Rd} = 29,171 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,884}{29,171} = 0,03 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

4.2.3. Ohyb (B82)

$$M_{y,Ed} = 0,327 \text{ kNm}$$

$$W_{pl,y} = \frac{I_y}{z} = \frac{7,88 \cdot 10^{-8}}{0,013} = 6,0615 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$M_{c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{6,0615 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1424,453 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 1,424 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,327}{1,424} = 0,23 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$M_{z,Ed} = 0,602 \text{ kNm}$$

$$W_{pl,z} = \frac{I_z}{z} = \frac{7,88 \cdot 10^{-8}}{0,013} = 6,0615 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$M_{c,Rd} = M_{z,pl,Rd} = M_{y,pl,Rd} = 1424,453 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 1,424 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,602}{1,424} = 0,42 \leq 1,0$$

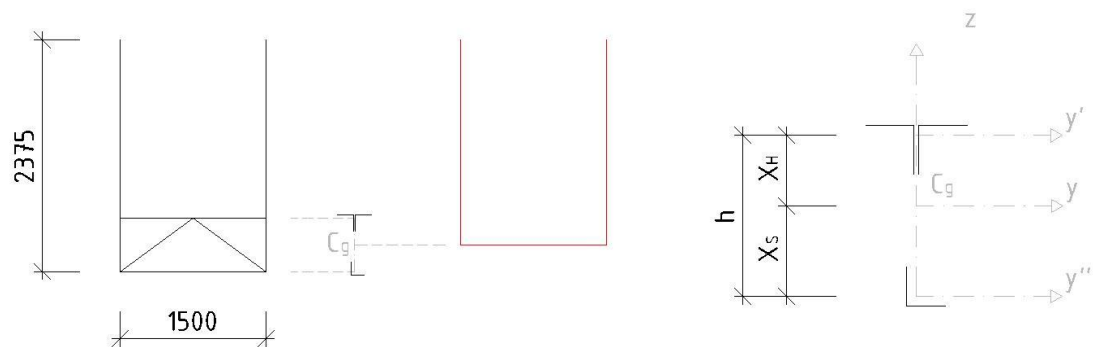
VYHOVÍ

4.2.4. Komentář

Vzhledem k dostatečným rezervám únosnosti průřezu pro základní typy namáhání a velikostem odpovídajících vnitřních sil (viz. Přílohy, kapitola 6.4.2.) není nutné posuzovat průřez na vzpěr, klopení a interakci těchto namáhání. Prvek vyhoví.

4.3. Tuhost

4.3.1. Geometrie



Obr. 4-26: Schéma náhradního polorámu pro výpočet

$$A_H = 9,6071 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$I_{y',H} = 2,1918 \cdot 10^{-7} m^4$$

$$A_S = 4,3 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$I_{y'',S} = 1,24 \cdot 10^{-7} m^4$$

$$x_s = \frac{A_H \cdot h + A_S \cdot 0}{A_H + A_S} = \frac{9,6071 \cdot 10^{-4} \cdot 0,55}{9,6071 \cdot 10^{-4} + 4,3 \cdot 10^{-4}} = 0,380 m$$

$$x_H = h - x_s = 0,55 - 0,38 = 0,170 m$$

Náhradní moment setrvačnosti:

$$I_y = I_H + A_H \cdot x_H^2 + I_S + A_S \cdot x_s^2$$

$$I_y = 2,1918 \cdot 10^{-7} + 9,6071 \cdot 10^{-4} \cdot 0,17^2 + 1,24 \cdot 10^{-7} + 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,38^2$$

$$I_y = 9,020 \cdot 10^{-5} m^4$$

4.3.2. Výpočet

$$C_d = C = \frac{E \cdot I_v}{\frac{h_v^3}{3} + \frac{h^2 \cdot b_q \cdot I_v}{2 \cdot I_q}} = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot 9,7413 \cdot 10^{-7}}{\frac{1,825^3}{3} + \frac{1,995^2 \cdot 1,5 \cdot 9,7413 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 9,020 \cdot 10^{-5}}} = 99\,705,589 \text{ N/m}$$

4.3.2.1. Bez opěrných vzpěr

$$L_{cr} = 1,75 \text{ m}$$

$$N_E = N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{L_{cr}^2} = \pi^2 \cdot \frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,9089 \cdot 10^{-6}}{1,75^2} = 199\,467,429 \text{ N}$$

$$C_d > \frac{4 \cdot N_E}{L} = \frac{4 \cdot 199\,467,429}{1,75} = 455\,925,552 \text{ N/m}$$

99 706 > 455 925 N/m

POLORÁM NENÍ TUHÝ

4.3.2.2. S opěrnými vzpěrami

$$L_{cr} = 3,5 \text{ m}$$

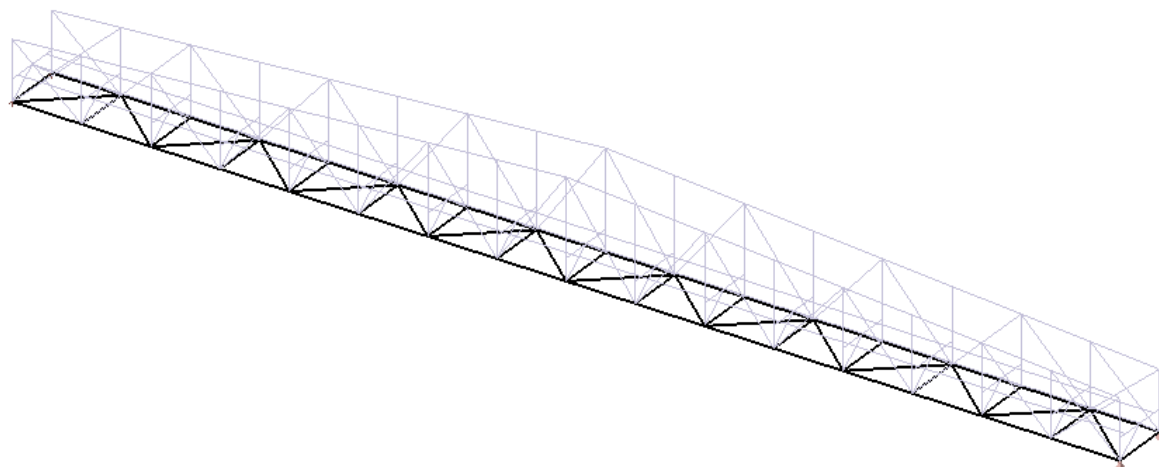
$$N_E = N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{L_{cr}^2} = \pi^2 \cdot \frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,9089 \cdot 10^{-6}}{3,5^2} = 49\,866,857 \text{ N}$$

$$C_d > \frac{4 \cdot N_E}{L} = \frac{4 \cdot 49\,866,857}{3,5} = 56\,990,694 \text{ N/m}$$

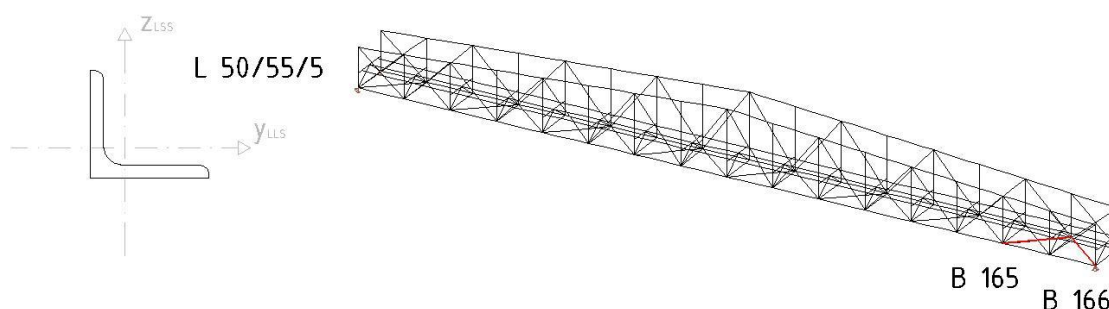
99 706 > 56 991 N/m

POLORÁM JE TUHÝ

5. VĚTROVÉ ZTUŽIDLO



Obr. 4-27: Schéma větrového ztužidla



Obr. 4-28: Průřez větrového ztužidla a poloha v konstrukci

5.1. Tažená diagonála (B166)

5.1.1. Tah

$$N_{Ed} = 116,853 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{5,8613 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 137740,55 \text{ N}$$

$$N_{t,Rd} = 137,741 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{116,853}{137,741} = 0,85 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

5.1.2. Ohyb

$$M_{y,Ed} = 0,140 \text{ kNm}$$

$$W_{pl,y} = \frac{I_y}{z} = \frac{1,254 \cdot 10^{-7}}{0,016} = 7,8375 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$M_{c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{7,8375 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1841,813 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 1,842 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,14}{1,842} = 0,08 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$M_{z,Ed} = 0,016 \text{ kNm}$$

$$W_{pl,z} = \frac{I_z}{z} = \frac{1,6064 \cdot 10^{-7}}{0,014} = 1,1474 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$M_{c,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,1474 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 2695,685 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 2,696 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,016}{2,696} \cong 0,01 \leq 1,0$$

VYHOVÍ**5.1.3. Interakce ohybu a osové síly**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{116,853}{137,741} + \frac{0,14}{1,841} + \frac{0,016}{2,696} \leq 1,0$$

$$0,93 \leq 1,0$$

VYHOVÍ**5.1.4. Smyk**

$$V_{Ed} = 0,140 \text{ kN}$$

$$A_v = A - b_f \cdot t_f = 5,8613 \cdot 10^{-4} - 0,055 \cdot 0,006 = 2,5613 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{MO}} = \frac{2,5613 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 34751,030 \text{ N}$$

$$V_{c,Rd} = 34,751 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,140}{34,751} \cong 0,00 \leq 1,0$$

VYHOVÍ**5.1.5. Interakce ohybu a smyku**

Interakci výše uvedených dvou typů namáhání lze zanedbat, pokud je splněna následující podmínka:

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$$

$$0,140 \leq 17,376 \text{ kN}$$

LZE ZANEDBAT**5.2. Tlačená diagonála (B165)****5.2.1. Tlak**

$$N_{Ed} = 98,549 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{5,8613 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 137740,55 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 137,741 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{98,549}{137,741} = 0,72 \leq 1,0$$

VYHOVÍ**5.2.2. Vzpěr**

$$L = L_{cr} = \sqrt{1,75^2 + 1,75^2} - 2 \cdot 0,15 = 2,175 \text{ m}$$

$$N_E = N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,254 \cdot 10^{-7}}{2,175^2} = 54941,189 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{5,8613 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{54941,189}} = 1,583$$

$$\bar{\lambda} = 1,583 \not\leq 0,2$$

NUTNO POSOUDIT NA VZPĚR

Jedná se o prut s nesouměrným průřezem (bez osy symetrie), který vybočí prostorovým vzpěrem. Jedná se o kombinaci obou rovinných vzpěrů a vzpěru kroucením, tedy kritická štíhlost $\lambda_{xy\omega}$. Křivka vzpěrné pevnosti „b“.

5.2.2.1. Prostorový vzpěr

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,254 \cdot 10^{-7}}{5,8613 \cdot 10^{-4}}} = 0,01463 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{2,175}{0,01463} = 148,667$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1,6064 \cdot 10^{-7}}{5,8613 \cdot 10^{-4}}} = 0,01656 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = \frac{2,475}{0,01656} = 149,457$$

$$I_p = I_y + I_z + A \cdot a^2$$

$$I_p = 1,254 \cdot 10^{-7} + 1,6064 \cdot 10^{-7} + 5,8613 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{0,017^2 + 0,004^2}$$

$$I_p = 1,0522 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_p = \sqrt{\frac{I_p}{A}} = \sqrt{\frac{1,0522 \cdot 10^{-5}}{5,8613 \cdot 10^{-4}}} = 0,13398 \text{ m}$$

$$\lambda_\omega = \sqrt{\frac{I_p}{\frac{I_\omega}{L_\omega^2} + \frac{I_t}{25}}} = \sqrt{\frac{1,0522 \cdot 10^{-5}}{\frac{0}{L_\omega^2} + \frac{7,218 \cdot 10^{-9}}{25}}} = 192,104$$

$$\kappa_z = \sqrt{\frac{1 + (a/i_p)}{3}} = \sqrt{\frac{1 + (0,01746/0,13398)}{3}} = 0,614$$

$$\lambda_{yz\omega} = \kappa \cdot \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_z^2 + \lambda_\omega^2} = 0,614 \cdot \sqrt{148,667^2 + 149,457^2 + 192,104^2} = 175,117$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_T = \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda_{yz\omega}}{\lambda_1} = \frac{175,117}{93,9} = 1,865$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,865 - 0,2) + 1,865^2] = 2,522$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,522 + \sqrt{2,522^2 - 1,865^2}} = 0,237$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,237 \cdot 5,8613 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,1} = 29676,828 \text{ N}$$

$$N_{b,Rd} = 29,677 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{98,549}{29,677} = \mathbf{3,32 \not\leq 1,0}$$

NEVYHOVÍ

5.2.3. Ohyb

$$M_{y,Ed} = 0,084 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{7,8375 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1841,813 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 1,842 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,084}{1,842} = \mathbf{0,05 \leq 1,0}$$

VYHOVÍ

$$M_{z,Ed} = 0,074 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,1474 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 2696,39 \text{ Nm}$$

$$M_{c,Rd} = 2,696 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,074}{2,696} = \mathbf{0,03 \leq 1,0}$$

VYHOVÍ

Vzhledem k dostatečné rezervě ohybové únosnosti průřezu není nutno uvažovat klopení průřezu.

5.2.4. Interakce ohybu a osové síly

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{98,549}{29,677} + \frac{0,084}{1,842} + \frac{0,074}{2,696} \leq 1,0$$

$$\mathbf{0,81 \leq 1,0}$$

VYHOVÍ

5.2.5. Smyk

$$V_{Ed} = 0,144 \text{ kN}$$

$$A_v = A - b_f \cdot t_f = 5,8613 \cdot 10^{-4} - 0,055 \cdot 0,006 = 2,5613 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{MO}} = \frac{2,5613 \cdot 10^{-4} \cdot (235 \cdot 10^6 / \sqrt{3})}{1,0} = 34751,030 \text{ N}$$

$$V_{c,Rd} = 34,751 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{0,144}{34,751} \cong 0,00 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

5.2.6. Interakce ohybu a smyku

Interakci výše uvedených dvou typů namáhání lze zanedbat, pokud je splněna následující podmínka:

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$$

$$0,144 \leq 17,376 \text{ kN}$$

LZE ZANEDBAT

6. KOMENTÁŘ K VÝPOČTU

Při posouzení ideálního stavu konstrukce jsem zjistila, že nevyhoví hned několik prvků z hlediska mezního stavu únosnosti a několik dalších vyhoví s rezervou menší než 10%. Problematickými prvky je zejména dolní pás hlavního nosníku a diagonály větrového ztužidla. Proto navrhuji výpočet na upraveném 3D modelu konstrukce, který se více shoduje s reálným provedením a užíváním konstrukce.

Tab. 4-4: Přehled jednotkových posudků MSÚ pro idealizovaný stav konstrukce

Prvek			Normálová síla		Vzpěr	Ohyb		Smyk		Jednotkový posudek
			[MPa];[kN]			[MPa];[kN]		[MPa];[kN]		
			Ed	Rd	Rd	Ed	Rd	Ed	Rd	
Mostina	2D model					14,951	16,154			0,93
								1,173	1,615	0,73
			1,082	4,308						0,25
Podélník	2D model					4,790	1,798			2,66
								9,810	57,486	0,17
Dolní pás	B39	Tah	322,433	324,770						0,99
		My				0,023	4,573			0,01
		Mz				0,196	6,290			0,03
		Interakce								1,03
		V						0,799	93,753	0,01
Dolní pás	B39	Tlak	329,428	324,770						1,01
		Rovinný	329,428		171,242					1,92
		Prostorový	329,428		245,939					1,34
Horní pás	B41	Tlak	290,196	713,015						0,41
		Rovinný	290,196		515,033					0,56
		Prostorový	290,196		580,160					0,50
		My				0,016	16,600			0,00
		Mz				0,486	17,359			0,03
		Interakce								0,59
		V						1,524	132,964	0,01
Diagonály	B38	Tah	82,587	324,770						0,25
	B76	Tlak	133,969	324,770						0,41
		Rovinný	133,969		137,289					0,98
		Prostorový	133,969		220,548					0,61
		My				0,084	4,573			0,02
		Mz				0,658	6,290			0,10
		Interakce								1,10
Svislice	B57	Tah	81,933	324,770						0,25
		V						6,359	93,753	0,07
	B42	Tlak	51,749	324,770						0,16
		Rovinný	51,749		202,243					0,26
		Prostorový	51,749		250,368					0,21
	Podr.	Tlak	2,902	324,770						0,01

Prvek			Normálová síla		Vzpěr	Ohyb		Smyk		Jednotkový posudek
			[MPa];[kN]			[MPa];[kN]		[MPa];[kN]		
			Ed	Rd	Rd	Ed	Rd	Ed	Rd	
Svislice	B51	Mz				8,714	6,290			1,39
Polorám - příčný nosník	B108	Tlak	11,326	225,765						0,05
	B140	V						9,386	65,174	0,14
	B120	My				0,779	2,638			0,30
	B84	Mz				2,744	3,732			0,74
		N	8,317	225,765						0,04
		My				0,121	2,638			0,05
		Interakce								0,82
Polorám - výztuhy	B141	Tlak	16,474	101,050					0,16	
	B82	V						0,884	29,171	0,03
	B82	My				0,327	1,424			0,23
	B82	Mz				0,602	1,424			0,42
Větrové ztužidlo	B166	Tah	116,853	137,741						0,85
		My				0,140	1,841			0,08
		Mz				0,016	2,696			0,01
		Interakce								0,93
		V						0,140	34,751	0,00
	B165	Tlak	98,549	137,741						0,72
		Prostorový	98,549		29,677					3,32
		My				0,084	1,842			0,05
		Mz				0,074	2,696			0,03
		Interakce								3,39
		V						0,144	34,751	0,00

Kapitola 5 POSOUZENÍ MSÚ – REÁLNÝ STAV

Výpočet na 3D modelu konstrukce, který se více shoduje s reálným provedením a užíváním konstrukce, uvažuji při následujících úpravách:

- konstrukce včetně opěrných vzpěr,
- opěrné vzpěry jsou modelovány v úrovni polorámů,
- nahrazení zatížení davem lidí.

Výpočet vnitřních sil je proveden výpočetním programem Scia Engineer, 2012.0 (viz. Přílohy, kapitola 9.). Kombinační pravidla, součinitele a samotné posouzení jednotlivých prvků je prvků analogické výpočtu při idealizovaném stavu konstrukce.

1. ZATÍŽENÍ

1.1. Nezměněná zatížení

Vlastní tíha	Generována programem Scia Engineer 2012.0
Mostiny	$g_{lis} = 0,384 \text{ kN/m}^2$
Zábradlí	$g_{záb} = 0,0157 \text{ kN/m}$
Síly větru ve směru X	$F_{w,x} = 1,677 \text{ kN/m}^2$ (konkrétně dle Tab. 2-1)
Síly větru ve směru Z	$F_{w,z,1} = 0,861 \text{ kN}$ $F_{w,z,2} = 0,431 \text{ kN}$

1.2. Upravená zatížení

Rovnoměrné zatížení	$q_{fk} = 4,069 \text{ kN/m}^2$ $Q_{fk} = 159,505 \text{ kN}$
---------------------	--

Vzhledem k šířce lávky, která činí 1,4m, předpokládám možný výskyt jediného chodce či cyklisty na šířku lávky. Uvažuji-li dále potřebný prostor ve směru rozpětí konstrukce pro chodce 1m a pro cyklisty 2m, při rozpětí lávky 28 m tedy považuji za reálný výskyt 28 pěších nebo 16 cyklistů. Již dříve byl na lávce omezen provoz pro 20 osob, což pro výpočet použiji.

$$m_{\text{člověk}} \cong 85 \text{ kg}$$

$$m_{\text{kolo}} \cong 10 \text{ kg}$$

$$Q_{fk,upr} = \max \{20 \cdot 85; 16 \cdot (85 + 10)\} = \max \{1700; 1520\} = 1700 \text{ kg} \equiv 17000 \text{ N}$$

$$Q_{fk,upr} = 17 \text{ kN}$$

$$q_{fk,upr} = \frac{17}{28 \cdot 1,4} = 0,434 \text{ kN/m}^2 \cong 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Vodorovná síla} \quad Q_{flk,upr} &= \max \{10\% \cdot Q_{fk}; 60\% \cdot Q_{serv}\} \\ Q_{flk,upr} &= \max \{0,1 \cdot 17; 0,6 \cdot 0\} = 1,7 \text{ kN} \\ Q_{flk,upr} &= 1,7 \text{ kN} = 1700 \text{ N} \equiv 170 \text{ kg} \end{aligned}$$

Zatížení odpovídající ve vodorovném směru 170kg považuji za reálné.

1.3. Vyloučená zatížení

$$\begin{aligned} \text{Soustředěné zatížení} \quad Q_{fwk} &= 10 \text{ kN} = 10\,000 \text{ N} \equiv 1000 \text{ kg} = 1 \text{ t} \\ \text{Vodorovná síla} \quad Q_{flk} &= 15,951 \text{ kN} = 15\,951 \text{ N} \equiv 1595,1 \text{ kg} \approx 1,6 \text{ t} \end{aligned}$$

Zatížení odpovídající ve svislém směru 1t a ve vodorovném směru 1,6t považuji z prostorových důvodů za nereálné. Dále se jedná o globální posouzení konstrukce, soustředěné zatížení neuvažuji.

2. POSOUZENÍ MSÚ

2.1. Opěrná vzpěra

2.1.1. Tlak

$$N_{Ed} = 3,322 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{5,7794 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 135815,9 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 135,816 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{3,322}{135,816} = 0,02 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

Vzhledem k rezervě únosnosti průřezu a velikosti vnitřních sil (viz. Přílohy, kapitola 9.8.4.) není třeba posuzovat prvek na ostatní typy namáhání a jejich vzájemnou interakci. Prvek vyhoví.

2.2. Svislice

2.2.1. Ohyb

Velikost síly stabilizující horní pás by měla být rovna přibližně 1/100 osově síly v daném stabilizovaném páse:

$$N_{Ed(dest)} \cong \frac{N_{Ed(B41)}}{100} = \frac{221,158}{100} = 2,212 \text{ kN}$$

$$M_{Ed(dest)} = N_{Ed(dest)} \cdot r = 2,212 \cdot 1,825 = 4,037 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{z,Ed} + M_{Ed(dest)} = 3,307 + 4,037 = 7,344 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{7,344}{6,29} = \mathbf{1,17 \not\leq 1,0}$$

NEVYHOVÍ

2.3. Ostatní prvky konstrukce

Výpočet ostatních jednotlivých prvků konstrukce je analogický jejich výpočtu při ideálním stavu nosné konstrukce, tudíž jej nebudu podrobně uvádět a posouzení bude provedeno v rámci tabulky uvedené níže. Protokol o výpočtu vnitřních sil výpočtovým programem Scia Engineer 2012.0 je součástí příloh této bakalářské práce (viz. Přílohy, kapitola 9.).

Tab. 5-1: Přehled jednotkových posudků MSÚ pro reálný stav konstrukce

Prvek			Normálová síla		Vzpěr	Ohyb		Smyk		Jednotkový posudek
			[MPa];[kN]			[MPa];[kN]		[MPa];[kN]		
			Ed	Rd	Rd	Ed	Rd	Ed	Rd	
Podélník	3D model					1,526	1,798			0,85
								1,732	57,486	0,03
Dolní pás	B39	Tah	273,253	324,770						0,84
		My				0,068	4,573			0,01
		Mz				0,312	6,290			0,05
		Interakce								0,91
		V						0,762	93,753	0,01
Dolní pás	B39	Tlak	328,743	324,770						1,01
		Rovinný	328,743		171,242					1,92
		Prostorový	328,743		245,939					1,34
Horní pás	B41	Tlak	221,158	713,015						0,31
		Rovinný	221,158		515,033					0,43
		Prostorový	221,158		580,160					0,38
		My				0,053	16,600			0,00
		Mz				0,982	17,359			0,06
		Interakce								0,49
		V						0,776	132,964	0,01
Diagonály	B38	Tah	81,344	324,770						0,25
	B76	Tlak	122,350	324,770						0,38
		Rovinný	122,350		137,289					0,89
		Prostorový	122,350		220,548					0,55
		My				0,145	4,573			0,03
		Mz				0,658	6,290			0,10
		Interakce								1,03

Prvek			Normálová síla		Vzpěr	Ohyb		Smyk		Jednotkový posudek
			[MPa];[kN]			[MPa];[kN]		[MPa];[kN]		
			Ed	Rd	Rd	Ed	Rd	Ed	Rd	
Svislice	B57	Tah	74,962	324,770						0,23
		V						6,590	93,753	0,07
	B19	Tlak	51,338	324,770						0,16
		Rovinný	51,338		202,243					0,25
		Prostorový	51,338		250,368					0,21
	Podr.	Tlak	2,902	324,770						0,01
Polorám - příčný nosník	B108	Tlak	11,326	225,765						0,05
	B128	V						7,284	65,174	0,11
	B120	My				0,603	2,638			0,23
	B84	Mz				2,536	3,732			0,68
		N	8,772	225,765						0,04
		My				0,215	2,638			0,08
		Interakce								0,80
Polorám - výztuhy	B117	Tlak	14,471	101,050						0,14
	B146	V						0,413	29,171	0,01
	B134	My				0,134	1,424			0,09
	B142	Mz				0,245	1,424			0,17
Větrové ztužidlo	B166	Tah	116,382	137,741						0,84
		My				0,129	1,841			0,07
		Mz				0,013	2,696			0,00
		Interakce								0,92
		V						0,118	34,751	0,00
	B165	Tlak	98,105	137,741						0,71
		Prostorový	98,105		29,677					3,31
		My				0,089	1,842			0,05
		Mz				0,077	2,696			0,03
		Interakce								3,38
		V						0,100	34,751	0,00

3. KOMENTÁŘ K VÝPOČTU

Úprava zatížení přinesla určité změny namáhání jednotlivých prvků konstrukce.

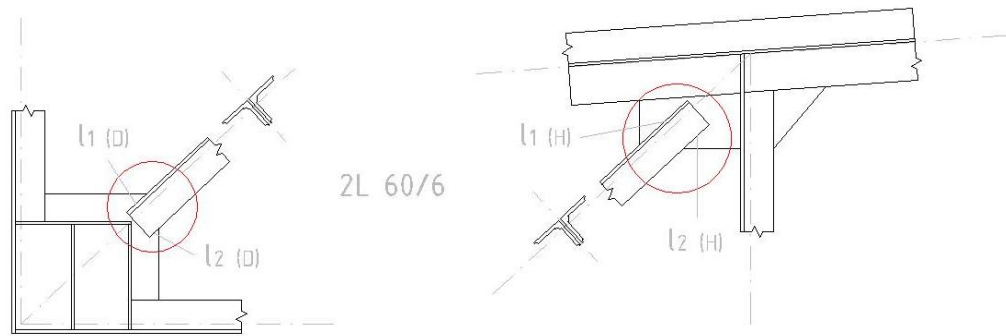
Příznivě ovlivnila namáhání podélných nosníků, které na nové zatížení bez problémů vyhoví. Stejně je tomu i u tahového namáhání dolních pásů hlavního nosníku. Tlačená diagonála hlavního nosníku již vyhoví z hlediska rovinného vzpěru, nicméně jeho interakce s ohybovým namáháním je i nadále nevyhovující. Nevyhoví ani svislice hlavního nosníku.

Výrazný problém tlakového namáhání na dolním pásu a diagonály větrového ztužidla přetrvává. Je to způsobeno tím, že bylo upraveno pouze svislé zatížení působící na konstrukci a výše uvedené namáhání je způsobeno účinkem sil od větru kolmo na rozpětí konstrukce.

Kapitola 6 POSOUZENÍ VYBRANÝCH SPOJŮ

1. Svarový spoj

Jedná se o přípoj nejvíce namáhané diagonály průřezu 2L 60/6 ke styčnickovému plechu. Účinné délky koutových svarů jsou odlišné pro připojení k dolnímu (l^D) a hornímu (l^H) pásu hlavního nosníku. Vnitřní síly uvažují z modelu reálného stavu.



Obr. 6-1: Označení účinné délky svarů

$$N_{Ed} = 122,35 \text{ kN}$$

$$\beta_{w(S235)} = 0,8$$

$$e = 17 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Ve svarech vzniká od osově síly pouze smyková složka napětí. Z níže uvedeného vztahu budu posuzovat potřebnou délku svaru l .

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_w}{a \cdot l} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

1.1. Koutový svar u přiléhajícího ramene

$$l_1^H = 100 \text{ mm}$$

$$l_1^D = 40 \text{ mm}$$

$$F_{w1} = N_{Ed} \cdot \frac{e}{b} = 122,35 \cdot \frac{17}{60} = 34,666 \text{ kN}$$

$$l_1 \geq \frac{F_{w1} \cdot \sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}{a \cdot f_u} = \frac{34,666 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25}{2 \cdot 4 \cdot 360} = 20,8 \text{ mm}$$

$$100 \geq 20,8 \text{ mm}$$

$$40 \geq 20,8 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

1.2. Koutový svar u odstávajícího ramene

$$l_2^H = 60 \text{ mm}$$

$$l_2^D = 20 \text{ mm}$$

$$F_{w1} = N_{Ed} \cdot \frac{b - e}{b} = 122,35 \cdot \frac{60 - 17}{60} = 87,684 \text{ kN}$$

$$l_2 \geq \frac{F_{w1} \cdot \sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}{a \cdot f_u} = \frac{87,684 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25}{2 \cdot 4 \cdot 360} = 52,7 \text{ mm}$$

$$60 \geq 52,7 \text{ mm}$$

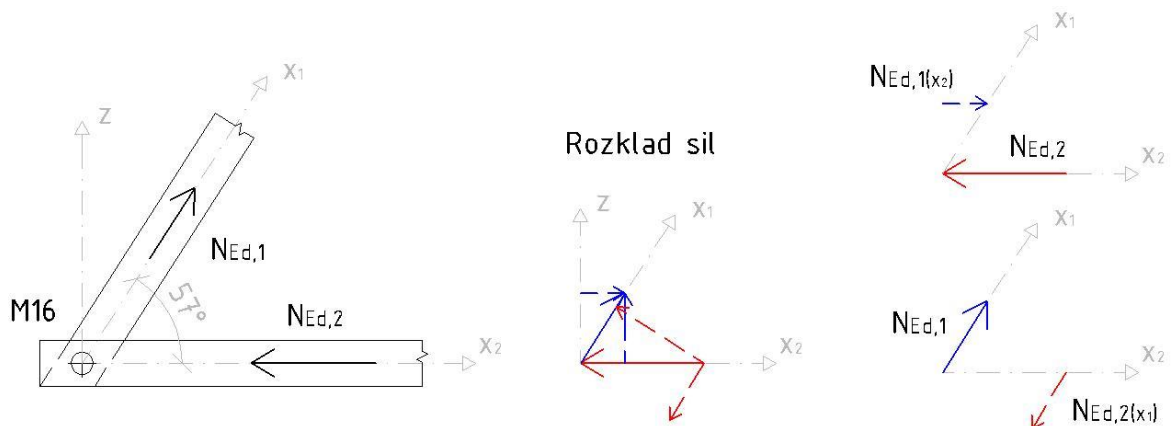
$$20 \not\geq 52,7 \text{ mm}$$

NEVYHOVÍ JAKO PŘÍPOJ K DOLNÍMU PÁSU

Účinná délka koutového svaru u odstávajícího ramene při připojení k dolnímu pásu $l_2^D = 20 \text{ mm}$ je na konstrukci ojedinělá, bohužel je tomu tak právě u nejvíce namáhané diagonály hlavního nosníku. V ostatních styčnicích jsou požadované účinné délky dostačující.

2. Šroubový spoj

Jedná se o posouzení vzájemného připojení jednotlivých prutů opěrné vzpěry kruhového průřezu Ø50 šroubem M16, jakostní třídy 4.6. Vnitřní síly uvažují z modelu reálného stavu.



Obr. 6-2: Šroubový přípoj prutů opěrné vzpěry

$$N_{Ed,1} = 0,924 \text{ kN} ; N_{Ed,1(x2)} = 0,924 \cdot \cos 57 = 0,503 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,2} = 3,322 \text{ kN} ; N_{Ed,2(x1)} = 3,322 \cdot \cos 57 = 1,809 \text{ kN}$$

Dále uvádím návrhové únosnosti jednoho šroubu dle způsobu porušení:

2.1. Tah

Návrhová únosnost pro jednu stříhovou plochu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 400 \cdot 157}{1,25} = 45216 \text{ N} = 45,216 \text{ kN}$$

2.2. Smyk

2.2.1. Střih

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 400}{1,25} = 30144 \text{ N} = 30,144 \text{ kN}$$

2.2.2. Otlačení

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 \cdot 18}; \frac{400}{360}; 1,0 \right\} = 0,556$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,556 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 8}{1,25} = 51214 \text{ N} = 51,241 \text{ kN}$$

2.3. Kombinace střihu a tahu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

2.4. Posouzení

Vzhledem k poměru velikostí vnitřních sil na prutech (a jejich složek získaných rozkladem sil) působících na šroub a návrhových únosností šroubu dle způsobu jeho porušení není nutno konkrétního posouzení. Šroub s dostatečnou rezervou vyhoví.

Kapitola 7 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázky:

- Obr. 1-1: Základní rozměry symetrické poloviny konstrukce
- Obr. 1-2: Možné pohyby ložisek
- Obr. 1-3: Výpočtový model idealizovaného stavu (bez opěrných vzpěr)
- Obr. 1-4: Výpočtový model reálného stavu (s opěrnými vzpěrami)
- Obr. 2-1: Směry působení větru na konstrukci
- Obr. 2-2: Označení styčníků pro jednotlivé referenční plochy
- Obr. 2-3: Referenční plochy vybraného styčnicku č. A6.
- Obr. 2-4: Schéma jednotlivých referenčních ploch
- Obr. 4-1: Geometrie a statické schéma
- Obr. 4-2: Dělení pole nosníku dle Tabulek příčinkových pořadnic
- Obr. 4-3: Vnitřní síly na prvku pro C24 (ohybové momenty, posouvající síly)
- Obr. 4-4: Vnitřní síly na prvku pro D30 (ohybové momenty, posouvající síly)
- Obr. 4-5: Reakce na prvku pro C24 a D30
- Obr. 4-6: Výpočet neznámé veličiny X_1
- Obr. 4-7: Výpočet vnitřních sil
- Obr. 4-8: Podélný nosník
- Obr. 4-9: Ohybové momenty na nejvíce namáhané části prvku
- Obr. 4-10: Posouvající síly na nejvíce namáhané části prvku
- Obr. 4-11: Ohybové momenty a posouvající síly od „LC3 - Dav lidí“
- Obr. 4-12: Podélný nosník jako součást 3D modelu konstrukce
- Obr. 4-13: Ohybové momenty od „LC8 - Dav lidí“
- Obr. 4-14: Posouvající síly od „LC8 - Dav lidí“
- Obr. 4-15: Schéma hlavního nosníku
- Obr. 4-16: Průřez dolního pásu a poloha v konstrukci
- Obr. 4-17: Průřez horního pásu a poloha v konstrukci
- Obr. 4-18: Průřez diagonál a poloha v konstrukci

- Obr. 4-19: Průřez svislic a poloha v konstrukci
- Obr. 4-20: Grafický součet
- Obr. 4-21: Průsečná metoda
- Obr. 4-22: Vnitřní síly určené výpočetním programem
- Obr. 4-23: Schéma ztužujících polorámů
- Obr. 4-24: Průřez příčného nosníku a poloha v konstrukci
- Obr. 4-25: Průřez příčných výztuh a poloha v konstrukci
- Obr. 4-26: Schéma náhradního polorámu pro výpočet
- Obr. 4-27: Schéma větrového ztužidla
- Obr. 4-28: Průřez větrového ztužidla a poloha v konstrukci
- Obr. 6-1: Označení účinné délky svarů
- Obr. 6-2: Šroubový přípoj prutů opěrné vzpěry

Tabulky:

- Tab. 2-1: Hodnoty sil od větru pro jednotlivé styčníky
- Tab. 2-2: Definice sestav zatížení (charakteristické hodnoty) dle Tab. 5.1
- Tab. 2-3: Návrhové hodnoty zatížení pro mezní stav STR/GEO, soubor B dle Tab. A2.4(B)
- Tab. 2-4: Návrhové hodnoty zatížení pro mezní stav použitelnosti dle Tab. A2.6
- Tab. 2-5: Hodnoty součinitelů ψ pro lávky pro chodce dle Tab. A2.2
- Tab. 3-1: Vlastní tvary konstrukce
- Tab. 3-2: Vlastní tvary konstrukce
- Tab. 4-1: Porovnání výsledků jednotlivých typů výpočtů
- Tab. 4-2: Porovnání výsledků jednotlivých typů výpočtů
- Tab. 4-3: Porovnání výsledků jednotlivých typů výpočtů
- Tab. 4-4: Přehled jednotkových posudků MSÚ pro idealizovaný stav konstrukce
- Tab. 5-1: Přehled jednotkových posudků MSÚ pro reálný stav konstrukce

Kapitola 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Velká písmena latinské abecedy:

A	Plocha průřezu
$A_{ref,x}$	Referenční plocha
$A_{ref,z}$	Referenční plocha
A_v	Smyková plocha
C	Součinitel zatížení větrem
C_d	Tuhost polorámu
C_{dir}	Součinitel směru větru
C_e	Součinitel expozice
C_{season}	Součinitel ročního období
C_t	Tepelný součinitel
E	Modul pružnosti v tahu a tlaku
$E_{0,mean}$	Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny
$E_{0,05}$	5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny
$E_{90,mean}$	Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům
$F_{b,Rd}$	Návrhová únosnost šroubu v otláčení
$F_{t,Rd}$	Návrhová únosnost šroubu v tahu
$F_{v,Rd}$	Návrhová únosnost šroubu ve stříhu
F_{w1}	Síla působící v prutu
$F_{w,x}$	Síla od větru ve směru X
$F_{w,z}$	Síla od větru ve směru Z
G	Hmotnost prvku v kg/m
G	Modul pružnosti ve smyku
G_d	Návrhová hodnota stálého zatížení
$G_{kj,sup}$	Charakteristická hodnota nepříznivého stálého zatížení
$G_{kj,inf}$	Charakteristická hodnota příznivého stálého zatížení

G_{mean}	Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo ve smyku
I	Moment setrvačnosti průřezu
I_p	Polární moment setrvačnosti
I_t	Moment tuhosti v prostém kroucení
$I_v(z)$	Intenzita turbulence
$I_{y,z}$	Moment setrvačnosti průřezu k hlavní ose y, z
I_ω	Výsečový moment setrvačnosti
Q_{fk}	Náhradní břemeno od rovnoměrného zatížení
Q_{flk}	Vodorovná síla
Q_{fwk}	Soustředěné zatížení
Q_d	Návrhová hodnota proměnného zatížení
$Q_{k,1}$	Charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
$Q_{k,i}$	Charakteristická hodnota vedlejšího proměnného zatížení
Q_{serv}	Zatížení od obslužného vozidla
L	Délka prvku
L	Lehká námrazová oblast
L	Rozpětí konstrukce
L_{cr}	Vzpěrná délka
M_b	Ohybový moment v bodě b
$M_{c,Rd}$	Návrhová únosnost v ohybu
M_{Ed}	Návrhová hodnota ohybového momentu
$M_{Ed(dest)}$	Destabilizující moment
$N_{Ed(stab)}$	Stabilizující síla
$N_{Ed(dest)}$	Destabilizující síla
$N_{b,Rd}$	Návrhová vzpěrná únosnost tlačeního prutu
N_{cr}	Pružná kritická síla pro příslušný způsob vybočení
$N_{c,Rd}$	Návrhová únosnost v prostém tlaku
N_{Ed}	Návrhová hodnota osově síly

$N_{t,Rd}$	Návrhová únosnost v tahu
R	Reakce
R_{max}	Maximální reakce
S	Vnitřní síla na prutu
$V_{c,Rd}$	Návrhová únosnost ve smyku
V_{Ed}	Návrhová hodnota smykové síly
W	Modul průřezu
$W_{pl,y}$	Plastický modul průřezu k ose y
$W_{pl,z}$	Plastický modul průřezu k ose z
X_1	Neznámá veličina

Malá písmena latinské abecedy:

a	Největší rozteče spojek ve složených členěných prutech
a	Účinná výška svaru
b	Osová vzdálenost hlavních nosníků
b	Šířka prvku
c_e	Součinitel expozice
$c_{f,x}$	Součinitel sil
$c_{f,z}$	Součinitel sil
$c_0(z)$	Součinitel orografie
$c_r(z)$	Součinitel drsnosti terénu
f	Vlastní frekvence konstrukce
$f_{c,0,k}$	Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,k}$	Pevnost v tlaku kolmo k vláknům
$f_{c,90,d}$	Návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům
$f_{m,k}$	Pevnost v ohybu
$f_{m,y,d}$	Návrhová pevnost v ohybu
$f_{t,0,k}$	Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny

$f_{t,90,k}$	Pevnost v tahu kolmo k vláknům
f_u	Mez pevnosti
f_{ub}	Mez pevnosti pro šrouby
$f_{v,k}$	Pevnost ve smyku
$f_{v,d}$	Návrhová pevnost ve smyku
f_y	Mez kluzu
f_{yb}	Mez kluzu pro šrouby
g_d	Návrhová hodnota spojitého rovnoměrného stálého zatížení
g_{jeh}	Spojité rovnoměrné zatížení od jehličnatého dřeva
g_k	Charakteristická hodnota spojitého rovnoměrného stálého zatížení
g_{lis}	Spojité rovnoměrné zatížení od listnatého dřeva
$g_{záb}$	Spojité rovnoměrné zatížení od zábradlí
h	Výška konstrukce
h_1	Výška konstrukce nad terénem
h_w	Výška stojiny
k_1	Součinitel turbulence
k_1	Součinitel pro výpočet únosnosti šroubu v otlacení
$k_{c,90}$	Součinitel zohledňující uspořádání zatížení
k_{mod}	Modifikační součinitel
k_r	Součinitel terénu
l_1	Účinná délka svaru u přiléhajícího ramene
l_2	Účinná délka svaru u odstávajícího ramene
i_{min}	Nejmenší poloměr setrvačnosti
i_p	Polární poloměr setrvačnosti
$i_{y,z}$	Poloměr setrvačnosti
q_b	Základní dynamický tlak větru
q_{fk}	Rovnoměrné zatížení od dopravy
$q_p(z)$	Maximální dynamický tlak

r	Rameno síly
s	Charakteristická hodnota zatížení sněhem
s_k	Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
t	Tloušťka
t_w	Tloušťka stojiny
t_{gl}	Základní tloušťka námrazy
u_{lim}	Limitní průhyb
u_y	Vodorovný průhyb
u_z	Svislý průhyb
$ u $	Celkový průhyb
v_b	Základní rychlost větru
$v_{b,0}$	Výchozí základní rychlost větru
$v_m(z)$	Střední rychlost větru
x_s	Poloha těžiště složeného průřezu
z	Součinitel drsnosti terénu
z	Výška nad terénem
z_0	Parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$	Parametr drsnosti terénu pro kategorii terénu II.
z_{max}	Maximální výška
z_{min}	Minimální výška

Velká písmena řecké abecedy:

ϕ	Hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti
ϕ	Skutečné pootočení

Malá písmena řecké abecedy:

α	Pootočení podporových bodů
α	Součinitel imperfekce
α	Úhel sklonu

α_b	Součinitel pro výpočet únosnosti šroubu v otláčení
β_w	Korelační součinitel
γ_{C24}	Objemová tíha jehličnatého dřeva C24
γ_{D30}	Objemová tíha listnatého dřeva D30
$\gamma_{Gj,sup}$	Součinitel zatížení pro nepříznivá stálá zatížení
$\gamma_{Gj,inf}$	Součinitel zatížení pro příznivá stálá zatížení
γ_Q	Součinitel zatížení pro proměnná zatížení
γ_m	Dílčí součinitel vlastnosti materiálu
γ_M	Součinitel spolehlivosti materiálu
κ	Součinitel nesouměrnosti
λ	Základní štíhlost
$\bar{\lambda}$	Poměrná štíhlost
μ_i	Tvarový součinitel
ξ	Součinitel zatížení
π	Ludolfovo číslo
ρ	Objemová hmotnost
ρ	Měrná hmotnost vzduchu
ρ_{mean}	Průměrná hodnota hustoty
$\sigma_{c,90,d}$	Návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům v dotykové ploše
$\sigma_{m,y,d}$	Návrhové napětí v ohybu k hlavní ose y
σ_v	Směrodatná odchylka turbulence
σ_{\perp}	Normálové napětí kolmé na účinnou plochu svaru
τ_d	Návrhové napětí ve smyku
τ_{\parallel}	Smyková složka napětí
τ_{\perp}	Smykové napětí kolmé na osu svaru
φ	Pootočení podporových bodů
χ	Součinitel vzpěrnosti
ψ	Součinitel pro lávky pro chodce

Kapitola 9 POUŽITÁ LITERATURA

Normy:

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. ČNI, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. ČNI, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. ČNI, 2005.
- [4] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. ČNI, 2007.
- [5] ČSN EN 1991-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*. ČNI, 2005.
- [6] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. ČNI, 2006.
- [7] ČSN EN 1993-1-3. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily*. ČNI, 2008.
- [8] ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. ČNI, 2006.
- [9] ČSN EN 1993-2. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Ocelové mosty*. ČNI, 2008.
- [10] ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. ČNI, 2006.
- [11] ČSN 73 0035. *Zatížení stavebních konstrukcí*. Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
- [12] ČSN 01 3483. *Výkresy kovových konstrukcí*. Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
- [13] ČSN ISO 690. *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

Knižní publikace a skripta:

- [14] HOLICKÝ, M., MARKOVÁ, J. *Zásady navrhování stavebních konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1990*. ČKAIT, Praha, 2007.

- [15] MACHÁČEK, J., SOKOL, Z., VRANÝ, T., WALD, F. *Navrhování ocelových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8. Navrhování hliníkových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1999-1. ČKAIT, Praha, 2009.*
- [16] SÝKORA, K. *Kovové konstrukce. Pomůcka pro cvičení.* Nakladatelství VUT v Brně, 1991.
- [17] KOLÁŘ, V. *Příčinkové čáry. Spojitých nosníků a rámových soustav. Tabulky příčinkových pořadnic.* SNTL, 1956.
- [18] MELČER, J., SÝKORA, K. *Prvky kovových konstrukcí. Modul BO02-M03.* Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Brno.

Internetové zdroje:

- [19] Mapa zatížení sněhem na zemi. *Sněhová mapa* [online]. ©2013 [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: <http://snehovamapa.cz/>.